



Tielaitos

Betonipäällysteen seuranta

Vt 4 Kempele - Kiviniemi

Kuntoraportti nro 1

Betonipäällysteen seurantasuunnitelma 1989 - 2021

Betonipäällysteen seurantaohjelma	1989
Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta	1991
Seurantaraportti no 1	1993
Seurantaraportti no 2	1995
Kuntoraportti no 1	1997
Seurantaraportti no 3	1999
Seurantaraportti no 4	2001
Kuntoraportti no 2	2003
Seurantaraportti no 5	2005
Seurantaraportti no 6	2007
Kuntoraportti no 3	2009
Seurantaraportti no 7	2011
Seurantaraportti no 8	2013
Kuntoraportti no 4	2015
Seurantaraportti no 9	2017
Seurantaraportti no 10	2019
Kuntoraportti no 5	2021

**Tielaitoksen
selvityksiä**

11/1997

Oulu 1997

Konsultointi
Oulun kehitysyksikkö



28.4.1997

Jakelun mukaan

BETONIPÄÄLLYSTEEN KUNTORAPORTTI

Oulun betonitien seurantatulosten perusteella on laadittu päällysteen tilaa ja kuntoa analysoiva kuntoraportti, joka oheisena lähetetään tiedokseenne.

Seurannasta ja raportin laadinnasta on vastannut Oulun kehitysyksikkö, josta on saatavissa tarkempaa tietoa sekä seuranta- ja tutkimustuloksia.

Julkaisun numero on TIEL 320 0458 ja sitä on saatavissa hallintopalveluista, puh 0204 44 2053.

Diplomi-insinööri



Heikki Suni

LIITTEET

Kuntoraportti

JAKELU

Tiepiirit	1 kpl kukin (9)
Oulun tiepiirin kirjasto	1
Ylijohtaja Karjaluo	1
Johtaja Rasilainen	1
Htl	1
Tko	10
Tko/Oulun kehitysyksikkö	10

TIEDOKSI

K Lundström, Finnsementti Oy
K Sivula, Lohja Rudus Oy
A Lampinen, A-L Consulting
M Salo, Oulun Viatek Oy
H Timonen-Nissi, Lohja Rudus Oy/Pohjois-Suomi
P Ala-Tuuhonen, Turun Viatek Oy

Heikki Suni/hs

	POSTIOSOITE	KÄYNTIOSOITE	LABORATORIO- NÄYTTEIDEN TOIMITUS	PUHELIN	TELEFAX
Konsultointi	PL 33 00521 Helsinki	Opastinsilta 12 A 00520 Helsinki	Kirjurinkatu 2-4 00520 Helsinki	0204 44 2141	0204 44 2154
Konsultointi Oulun kehitysyksikkö	PL 261 90101 OULU	Vanhantullinkatu 2 90100 OULU		0204 44 6892	0204 44 6916

Tielaitoksen selvityksiä
11/1997

Betonipäällysten seuranta

Vt 4 Kempele - Kiviniemi

Kuntoraportti nro 1

Tielaitos
Konsultointi, Oulun kehitysyksikkö

Oulu 1997

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-324-4
TIEL 3200458
Oy Edita Ab
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallintopalvelut,
painotuotemyynti
Telefaksi 0204 44 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

Konsultointi
Oulun kehitysyksikkö
Vanhantullinkatu 2
PL 261
90101 OULU
Puh. 0204 44 6892

Aiheluokka 33

Asiasanat betonitie, betonipäällysteet, betonipäällysteen seuranta

TIIVISTELMÄ

Oulun betonikoetien suunnittelun lähtökohta oli mitoittaa betonipäällyste ja sen alapuoliset rakenteet kestäväksi sekä ankan talven, että vilkkaan liikenteen aiheuttamat rasitukset ja kulumisen.

Kuuden ensimmäisen käyttövuoden aikana päällysteen urautuminen on ollut selvästi suunniteltua voimakkaampaa. Keskimääräinen maksimi urasyvyys oli vuonna 1996 noin 9,5 mm, kun se suunnitellun laskennallisen kulumisen mukaan olisi saanut olla noin 7 mm. Pahimmin urautuneilla kohdilla uran syvyys oli 18...22 mm, minkä vuoksi nämä tienkohdat, yhteensä noin 1100 m on jouduttu päällystämään asfaltilla.

Paikoin betonissa on todettu silmin nähden havaittavaa rapautumista, jopa pientareilla ja keskikaistalla, jossa ei ole ollut liikenteen aiheuttamaa rasitusta. Rapautumisen syyksi on suoritettua betonianalyysissä osoittautunut betonin heikko pakkaskestävyys, joka suurimmaksi osaksi selittää päällysteen ennakoitua voimakkaamman urautumisen. Rapautuminen pakkas-suolako-keessa v 1996 oli 3,7...18,2 %, kun suunnittelutavoite oli alle 3 %. Sallittua suurempaa rapautumista oli todettu jo muutamissa vuoden 1990 ja 1992 näytteissä. Pääsyyinä heikkoon pakkaskestävyyteen on tutkimuksissa osoit-
tautunut se, ettei betonia oltu huokostettu. Myös betonin laadun vaihtelu on todettu tutkimuksissa suureksi.

Heikkoa pakkaskestävyyttä selittää osaltaan myös mikroskooppianalyysissä todettu tasainen, epäjatkuva mikrosäröily. Näytteiden pintaosan indeksi oli 2,0...3,0 ja syvemmällä näytteessä 1,5...2,0.

Betonin taivutusvetolujuuden arvot vaihtelivat vuoden 1996 tutkimuksissa välillä 5,11...6,42 MN/m², eli selvästi alle suunnittelulujuuden. Puristuslujuu-
den arvot vaihtelivat 80,1...87,7 MN/m² ja olivat jonkin verran suurempia kuin aikaisemmin.

Rakenteen routamitoitus näyttää toimineen suunnitellulla tavalla, sillä epäta-
saista routanousua ei seurantajakson aikana ole havaittu. Pengerpainumaa on todettu kahden siltipehmeikön kohdalla enimmillään noin 130 mm. Painumat ovat olleet tasaisia, eikä laattojen välisiä liikkumia ole havaittu.

Saumarakenteiden alkuperäinen saumanauhalla ja -massalla suoritettu sau-
maus on jouduttu suorittamaan uudelleen Phoenix-elementtistoin, jotka ovat toimineet ilman vaurioita ja moitteettomasti.

Keywords pavement, cement concrete, pavement performance

ABSTRACT

On the Main Road 4 (European Highway 75) near Oulu, a test concrete pavement in length of 3920 m was built in 1990 by Finnish Road Administration Oulu district in northern Finland. This concrete pavement is one the most northern ones in the world, so a follow-up program was scheduled to record the behaviour of this test road. The main goal of the planning was to dimension the concrete pavement with base and sub-base to carry the arctic frost heave, the heavy traffic and the wearing influence of studded tires and de-icing salts.

During the sex first years the rutting has been faster than estimated. The average maximum rut depth in 1996 was 9.5 mm, when dimensioned 1.17 mm/a. The maximum rut depth on most rutted places of the test road was 18...22 mm, so that the Oulu road district for traffic safety reason had to overlay them with asphalt concrete in length of 1100 m.

Some surface scaling on many places of the test road has been seen not only on lanes but on shoulders, too. An analysis to disclose this surface scaling was carried out in 1996 and founded that the frost resistance of concrete was weak caused by non porous mass of the concrete. The weathering in frost resistance test was 3.7...18.2% (requirement $\leq 3\%$). The flexural strength was very low, about 5.11...6.42 MN/m² (requirement ≥ 7 MN/m²). Some micro checking was to seen in microscope analysis, too. The index was 2.0...3.0 in surface and 1.5...2.0 in the middle of sample.

The average value of compressive strength varied 80.1...87.7 MN/m² (requirement ≥ 55 MN/m²). The value of compressive strength has increased in every determination during 1990-96.

The frost dimensioning seems to been quite sufficient because no uneven frost heave have measured during follow-up period 1990-96. The frost index in dimensioning was 47 000 h°C and the maximum measured frost index during follow-up period has been 30 500 h°C.

Some settlements (maximum in 130 mm) of two embankment on weak silt soil has measured. Settlements are even, so no stepping of slabs has to been seen.

The sealing work of transverse contraction joints has been problematic. The originally sealing work was done using baker rods and sealing compound. After the first winter 1990/91 the contractor had to replace all baker rods and the sealing compound, but same the problems (the sealing compound became loose) re-occurred again during the winter 1992/93, so the contractor changed the sealing materials to PHOENIX joint profiles during the summer of 1993. Joint profiles have worked very well.

ALKUSANAT

Oulun tiepiiri rakensi vuonna 1990 vt:n 4/8 parantamisen yhteydessä 3920 m pitkän betonikoetien välillä Kempele - Kiviniemi. Betonipäälysteen rakentamista oli edeltänyt keskustelu betonitietuotannon käynnistämisestä Tielaitoksessa. Sitä varten tarvittiin tutkimusta ja kokemusta nykyaikaisen betonitien rakentamisesta, päälysteen käyttäytymisestä ja taloudellisuudesta suunnitellulla pitoajalla sekä betonipäälysteen soveltumisesta pohjoisiin olosuhteisiin.

Betonipäälyste suunniteltiin suomalaisten erikoisasiantuntijoiden toimesta siten, että suunnittelussa voitiin hyödyntää viimeisin` koti- ja ulkomainen tieto. Päälysteen rakentamisen toteutti YIT-yhtymä Oy aliurakoitsijoita käyttäen. Betonimassan valmisti Oululainen Rajaville Oy jatkuvasekoitteisella ARAN ASR-250 X siirrettävällä betoniasemalla. Massan levitti hollantilainen COBETON käyttäen Cat 350 betoninlevitintä. Saumojen sahaukset ja saumaustyön suoritti saksalainen Otto Alte-Teigeler GMBH. Betonipäälysteen suunnittelusta ja rakentamisesta on raportoitu vuonna 1991 /1/.

Betonipäälysteen seurantaan varten laadittiin päälysteen pitoiän kattava seurantasuunnitelma /2/, jonka tavoitteena oli

- todeta mahdolliset vauriot sekä niiden syyt ja eteneminen riittävän ajoissa
- varmistaa korjaus- ja kunnostustoimenpiteiden oikea-aikainen suorittaminen ja siten palvelutason säilyminen hyvänä mahdollisimman pitkään
- kerätä tietoja ja kokemuksia betonipäälysteen kunnostustoimenpiteistä ja kustannuksista
- kerätä tutkimus- ja kehitystyötä varten tietoja päälysteen palvelutasosta ja kestävyyydestä syvän roudan olosuhteissa.

Seurantasuunnitelman mukaisista mittauksista ja toimenpiteistä on laadittu seurantareportit vuosina 1993 ja 1995 /3, 4/. Seurantareporttien sekä vuoden 1996 elokuun loppuun mennessä suoritettujen mittausten, tutkimusten ja havaintojen perusteella on tässä kuntoreportissa arvioitu päälysteen kuntoa ja käyttäytymistä sekä analysoitu kestämiseen johtaneita syitä.

Päälysteen seurannasta on vastannut Geokeskuksen Oulun kehitysyksikkö, jossa seurantatyötä on johtanut DI Heikki Suni. Profilometri- ja muut erikoismittaukset on suorittanut VTT:n yhdyskuntatekniikan laboratorio. Oulun Viatex Oy on vastannut vaaituksista ja kuntohavainnoista sekä raportoinut seurantatuloksista. Betonin laatua koskevat tutkimukset on tehnyt VTT:n Oulun toimipiste. Tämän raportin koonnista ja laadinnasta on vastannut DI Heikki Suni.

Oulussa helmikuulla 1997

Konsultointi

Oulun kehitysyksikkö

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 SEURANTAOHJELMA	11
2.1 Seurantaohjelma ja sen toteutuminen	11
2.2 Seurannan suoritusorganisaatio	12
2.3 Mittauskalusto ja suoritettut mittaukset	12
2.4 Muut selvitykset ja toimenpiteet	14
3 SEURANTATULOKSET	15
3.1 Mittaustulokset	15
3.1.1 Tasaisuusmittaukset	15
3.1.2 Uramittaukset	16
3.1.3 Valokuvatarkastelut	18
3.1.4 Kitkaominaisuudet	19
3.1.5 Valon paluuheijastavuus	19
3.1.6 Melumittaukset	19
3.1.7 Betonilaattojen liikkeet	19
3.1.8 Betonin laadun seuranta	19
3.1.8.1 Taivutusvetolujuus	20
3.1.8.2 Puristuslujuus	20
3.1.8.3 Pakkas - suolakestävyys	20
3.1.8.4 Mikroskooppianalyysi	21
3.1.8.5 Betonianalyysi	22
3.1.9 Routahavaintoihin liittyvät mittaukset	23
3.1.10 Vaaitukset/painumamittaukset	24
3.2 Päällysteen kunnon seuranta	25
3.2.1 Kunto-/vaurioinventointi	25
3.2.2 Saumojen tarkastukset	25
3.2.3 Kuntotietojen ylläpito	25
3.3 Liikenne-, liikenneturvallisuus- ja kelitiedot	25
3.3.1 Liikenteen koostumus ja määrä	25
3.3.2 Liikenneturvallisuus	26
3.3.3 Hoito ja liukkaudentorjunta	27
3.3.4 Sää- ja kelihavainnot	27
3.4 Kustannusseuranta	27
4 PÄÄLLYSTEEN KUNTO	28
4.1 Tasaisuus	28
4.2 Kuluminen ja urautuminen	28
4.3 Kitkaominaisuudet	29
4.4 Valon paluuheijastavuus	29
4.5 Melutaso	30
4.6 Laattojen liikkuminen	30

4.7 Betonin laatu ja laadun vaihtelut	30
4.7.1 Betonin lujuus	30
4.7.2 Betonin säilyvyys	31
4.7.3 Betonin koostumus	31
4.8 Roudan tunkeutuminen ja routanousu	32
4.9 Painumat	32
5 TULOSTEN JA PÄÄLLYSTEEN TILAN ARVIOINTI	33
<hr/>	
5.1 Betonin laatu	33
5.2 Runkoaines	33
5.3 Valu	34
5.4 Jälkihoito	34
5.5 Liukkaudentorjunta	34
5.6 Kunnostustoimenpiteet	35
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	36
<hr/>	
6.1 Rakenteellisen suunnittelun ja mitoitusten perusteet	36
6.1.1 Alus- ja päällysrakenteet	36
6.1.2 Betonilaatta	36
6.2 Routamitoitus ja -rakenteet	37
6.3 Taloudellisuus	37
6.4 Jatkoseuranta	37
7 LIITTEET	38
<hr/>	
8 KIRJALLISUUS	38
<hr/>	

1 JOHDANTO

Tielaitoksessa betoniteiden rakentamiseen on suhtauduttu varauksellisesti. On haluttu edetä varovasti hankkimalla kokemusta ulkomailta ja toteuttamalla vain muutamia kohteita, joiden seurannan kautta kotimaista kokemusta on hankittu. Sotien jälkeen Suomessa toteutetut merkittävimmät betonitie-hankkeet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Merkittävimmät sotien jälkeiset betonitiekohdeet Suomessa

Betonitiekohde	Pituus (m)	Leveys (m)	Paksuus (cm)	Saumaväli (m)	Bet. lujuus	Rak. vuosi
Ylikylä-Parainen mt 180, Kaarina, Parainen	12 600	2 x 3.50	18	15 ⁵⁾	K 32	1958-59 asf. 84
Kehä III kt 50, Vantaa	720	2 x 3.75	20	5	K 30-50	1971 asf.85
Palojärvi-Olkkala vt 2, Vihti	1 100	2 x 3.75	20	5	K 40	1973 asf.84
Kalkkitie (katu) Parainen	1 943	2 x 3.66	20 18	5 4.5	K 40	1981-82
Rajaniemi-Lakalaiva kt 45, Pirkkala	2 050	2 x 4.25	20	5	K 40	1983 ¹⁾
Villähde- Nastola vt 12, Nastola	2 450	2 x 4.25	22	5	K 60	1984 ²⁾
Kempele-Kiviniemi vt 4/8 Kempele, Oulu	3 980	2 x 4.5	22	5	K 55	1990 ³⁾
Karhunkorpi vt 3, Nurmijärvi	4 550	2 x 4.5	22	5	K 90	1991
Lakalaiva-Alasjärvi vt 9, Tampere	16 240 + 10.627 ⁴⁾	4.35 + 4.65 6.0	22	5	K 80	1994

1) peruskorjattu 1992; tasausjyrsintä + timanttihionta

2) tasausjyrsitty 1991, asfaltoitu 1993

3) pahimmin urautuneet kohdat, n 1100 m, asfaltoitu 1995 ja 1996

4) täysleveitä ramppeita

5) joka kolmas on liikuntasäula

Taulukosta voidaan todeta, että useimpien betonipäällysteiden ikä on jäänyt suunniteltua lyhyemmäksi. Tarkkaa analyysia vanhempien betonipäällysteiden kunnon heikkenemiseen johtaneista syistä ei ole olemassa. Niinpä uusimpia, 1990-luvulla rakennettuja Oulun, Uudenmaan ja Hämeen tiepiirien betonipäällysteitä, joiden suunnittelussa ja toteutuksessa on sovellettu uusinta korkealujuusbetonitekniikkaa, seurataan tielaitoksen toimesta päällysteiden käyttäytymisen ja taloudellisuuden selvittämiseksi.

Tiehallituksessa oli 1990-luvun alkuvuosina käynnissä korkealuokkaisten betoniteiden tuotantoedellytyksiä selvittävä ns. Bettie-projekti, jonka toimesta laitoksessa luotiin mm betonipäällysteiden ohjeet /5/, Betonipäällysteiden kunnon seuranta- ja kunnossapito-ohjeet /6/ sekä betonipäällysteen taloudellisuutta ja soveltuvuutta selvittelevät valintaohjeet, Betonipäällysteen valinta ja talous /7/.

Taloudellisuusvertailuiden mukaan betonipäällyste tulee nykyisillä asfaltin ja betonin hintasuhteilla asfalttipäällystettä edullisemmaksi kun $KVL > n\ 35000$ ajon/vrk /7/. Merkille pantavaa on, että Suomen uusimmat betonipäällysteet on toteutettu selvästi tätä alhaisemmillä liikennemäärillä, $KVL \sim 12000...15000$ ajon/vrk.

Oulun betonikoetien puristuslujuusvaatimus oli 55 MN/m^2 ja toteutuma $n\ 60\text{ MN/m}^2$. Se on selvästi alhaisempi kuin Uudenmaan ja Hämeen piirien betoniteiden lujuusluokka. Muihin uudempiin betoniteihin verrattuna erona on myös 1-kerrosvalutekniikka, runkoaineen suuri maksimiraekoko ($d_{\max} = 32\text{ mm}$) sekä olosuhteiltaan pitempi ja ankarampi talvi.

Haluttaessa tehdä vertailuja mainittujen kolmen uusimman betonipäällysteen kesken, tulee lisäksi ottaa huomioon mm paikallinen ilmasto, liikenteen määrä ja koostumus sekä käytetyn karkean runkoaineen laatu. Päällysteiden ominaiskuluminen (SPS) selvitettiin vuonna 1995 ruotsalaisen Norcem A/S toimesta Norjan Brevik'n Veislitern-testiradalla. Parhaan testiarvon saivat Uudenmaan betonipäällysteen näytelaatat ja heikoimmat arvot Oulun laatat. Testiajon raportointi on esitetty kirjallisuusviitteessä /8/. Pelkistetty tulos on esitetty taulukossa 2, jossa näytteet Häme -1 ja 2 ovat Tampereen itäiseltä ohikulkutieltä vt 9 Lakalaiva-Alasjärvi, Oulu-1 ja 2 Oulun betonikoe-tieltä vt 4/8 Kempele-Kiviniemi ja näytteet Uusimaa-1 ja 2 Karhunkorven betonitieltä vt 3 Nurmijärvi.

Taulukko 2: Kulutuskokeen tulokset sekä laskettu SPS-arvo

Näyte	Alkukuluminen Nm	Kuivakuluminen Nm	Märkäkuluminen Nm	SPS-arvo
Häme-1	137	94	247	8,3
Häme-2	140	93	230	8,1
Oulu-1	203	118	307	10,4
Oulu-2	153	137	267	10,9
Uusimaa-1	77	61	130	5
Uusimaa-2	77	65	145	5,4

2 SEURANTAOHJELMA

2.1 Seurantaohjelma ja sen toteutuminen

Oulun betonikoetien seurantaa on suoritettu vuonna 1989 valmistunutta seurantaohjelmaa /2/ soveltaen taulukon 3 mukaisesti. Lähtötilanne päällysteen valmistuttua vuonna 1990 tallennettiin ohjelman mukaisesti, mutta jo vuonna 1992 mittausohjelmaa kevennettiin, koska kävi ilmeiseksi, että päällysteen urautuminen oli voimakkaampaa kuin oli oletettu. Seuraavien vuosien seurantamittauksissa on keskitytty pääasiassa päällysteen kunnon ja urautumiskehityksen seurantaan.

Taulukko 3: Betonitien seurantaohjelma ja sen toteutuminen 1990-1996

[illegible]

2.2 Seurannan suoritusorganisaatio

Seurannasta on vastannut Geokeskuksen Oulun kehitysyksikkö käyttäen mm. seuraavien laitosten ja yritysten palveluja:

Tielaitos, Oulun tiepiiri

Tasaisuusmittaukset, iikenne- ja liikenneturvallisuus- tilastointi, sää- ja keli-havainnot sekä päällysteen kunnossapitotoimenpiteet ja liikenteenohjaus.

VTT Rakennustekniikka, Oulun toimipiste

Betonin laatua koskevat selvitykset

VTT Yhdyskuntatekniikka, Espoo

Uramittaukset, kitkanmittaukset, valon paluuheijastavuusmittaukset sekä melumittaukset

Oulun Viatek Oy

Routahavaintoihin liittyvät mittaukset, betonilaattojen liikkeisiin liittyvät mittaukset, valokuvatarkastelut, vaaitukset, kunto- ja vaurioinventoinnit, kuntorekisterin päivitykset, mittauksien käsittely ja seurantatiedot

2.3 Mittauskalusto ja suoritettut mittaukset

Seuranta- ja mittausohjelman toteutuminen on osoitettu taulukossa 3.

Tasaisuusmittaukset

Betonitien tasaisuus on mitattu päällysteen valmistuttua 1990 Laser-tasaisuusmittauksena Oulun tiepiirin palvelutasomittauskalustolla pääosin seurantasuunnitelman mukaisesti.

Uramittaukset

Päällysteen urautumista ja kulumista on seurattu profilometrimittauksin. Vuonna 1991 uramittauksia ei tehty.

Kitkaominaisuudet

Betonipäällysteen kitkaa on mitattu kitkanmittausautolla vain kahtena ensimmäisenä seurantavuonna, koska mitään poikkeavaa kitkakäyttäytymistä ei ole havaittu.

Valon paluuheijastavuus

Päällysteen paluuheijastavuus on mitattu LTL-800 Retrometer-paluuheijastuvuusmittarilla betonipäällysteen valmistuttua 1990. Mittauksia ei ole myöhemmin uusittu.

Melumittaukset

Melumittaus tehtiin ISO-standardia soveltaen päällysteen valmistuttua. Suunnitelman mukaisia myöhempiä mittauksia ei ole suoritettu.

Betonilaattojen liikkeet

Betonilaattojen liikkeistä tutkittiin käyristymistä ja lämpölaajenemista/-kutistumista kevättalvella 1991. Koska mitään poikkeavaa lämpökäyttäytymistä ei ole havaittu, mittausta ei ole uusittu.

Taipumamittaukset

Tukikerroksena käytetyn maabetonin mahdollisen eroosion ja murtumisen seuraamiseksi ohjelmaan sisällytettiin taipumamittaukset vuosille 1992 ja 1996. Koska laattojen keinumista tai siihen liittyviä vaurioita ei ole havaittu, taipumamittauksia ei ole tehty.

Betonin laadun seuranta

Betonipäällysteen laadun kehittymistä on seurattu päällysteestä vuosina 1990, 1991, 1992 ja 1996 otettujen näytteiden laboratoriotutkimuksilla. Näytteistä on määritetty mm taivutusvetolujuus, puristuslujuus, pakkas-suolakesävyys sekä on tehty mikroskooppianalyysi.

Routahavaintoihin liittyvät mittaukset

Betonipäällysteellä mittauksia on tehty kolmessa instrumentoidussa poikkileikkauksessa sekä yhdessä vertailupoikkileikkauksessa asfalttiosuudella. Mittauksia tehtiin alussa ohjelman mukaan, mutta ohjelmaa on myöhemmin vuosina kevennetty pyrkimällä selvittämään vain roudan maksimi tunkeutumisvyvyys.

Vaaitukset/painumamittaukset

Laattojen liikkeiden ja tierakenteen painumisen seuraamiseksi tehtyt vaaitukset on tehty elektronisella takymetrikalustolla. Ns. 0-vaaitus tehtiin elokuulla 1990. Koska laattojen liikkeissä ei seuraavien vuosien vaaituksissa havaittu mitään odottamatonta, on myöhempää vaaitusohjelmaa osittain kevennetty.

Kunto-/vaurioinventointi ja saumojen tarkastukset

Päällysteen ja saumarakenteiden kuntoa ja havaittuja vaurioita on seurattu ohjelman mukaan, alussa vuosittain ja sittemmin kahden vuoden välein. Tiedot on kerätty silmävaraisin havainnoin. Koska ensimmäiset kutistumishalkeamat syntyivät jo päällysteen kuivumisvaiheessa, ennen tien käyttöönottoa, tehtiin ensimmäinen vaurioinventointi rakennuttajaorganisaation toimesta. Kaikki tulokset on tallennettu laattakohtaiseen kuntorekisteritiedostoon.

Kuntorekisteri ja rekisterin päivitys

Betonipäällysteen laattakohtaista seurantaan varten luotiin v 1990 PC-sovitteinen kuntorekisteri BETO 1.5-Betonitien seuranta-ohjelmisto, johon inventointitiedot on joka toinen vuosi suoritettujen inventointikierron jälkeen tallennettu.

Liikenneturvallisuus

Oulun tiepiiri saa automaattisesti tiedot poliisin tietoon tulleista henkilövahinkoihin johtaneista liikenneonnettomuuksista. Onnettomuustiedot rekisteröidään tieosittain.

Sää- ja kelihavainnot

Oulun tiepiirillä on tiesääpalveluasema betonitien kohdalla Ouluntullissa. Sääpalveluaseman taltioimista tiedoista oli tarkoitus käyttää hyväksi keliyypeittäisiä tietoja analysoitaessa kokonaiskulumista kuiva-/märkäkulumiseen. Sääaseman käynnistyi kuitenkin vasta vuonna 1992 ja sen toiminnassa on ollut katkoja, joten riittävää aineistoa analyysien tekoon ei tarkastelujaksolla ole syntynyt.

Liikennetiedot

Betonipäällysteen liikennemäärät ja liikenteen koostumus on saatu tiepiirin normaalin liikennelaskentaverkoston kautta vuosittain.

2.4 Muut selvitykset ja toimenpiteet

Takuuajan tarkastukset ja korjaustoimenpiteet

Tiepiirin rakennuttajaorganisaatio on suorittanut betonipäällysteen takuuajan seurantaan liittyviä selvityksiä ja korjaustoimenpiteitä mm. halkeilun ja saumauksen osalta. Päällysteen takuuajan aikana havaitut ja takuun piiriin kuuluneet korjaustoimenpiteet hoiti rakennuttajaorganisaatio vuoden 1992 marraskuulle saakka. Saumarakenteiden osalta takuu ulottui vuoden 1993 syksyyn saakka. Myöhemmistä korjaustoimenpiteistä on vastannut tiemestaripiiri.

Betonin laatua ja päällysteen urautumista koskevat erillisselvitykset

Oulun teknillisessä oppilaitoksessa on tehty betonipäällysteen seurantaan liittyen kaksi insinööritoimintaa: Tero Kouvan (1991) aiheena oli betonipäällysteen laatuun vaikuttaneiden ulkoisten ja sisäisten tekijöiden merkityksen arviointi työmaan laaduntarkkailun, ulkoisten olosuhteiden ja todetun vaurio- ja tasaisuusinventoinnin perusteella /9/. Panu Lahdensuo (1996) selvitti betonipäällysteen voimakkaaseen kulumiseen ja urautumiseen johtaneita syitä sekä analysoi niitä selittäviä tekijöitä /10/.

Valokuvatarkastelut

Betonipäällysteen alkuosuuden keskimääräistä suuremman kulumisen syiden selvittämiseksi on tehty valokuvatarkastelu, jossa mm. määriteltiin karkean runkoaineen suhteellinen osuus kokonaispinta-alasta. Tuloksia on tarkemmin käsitelty seurantaraportissa /4/.

Hoito ja kunnossapito

Betonitien normaalista hoidosta ja kunnossapidosta on huolehtinut Kempeleen tiemestaripiiri.

3 SEURANTATULOKSET

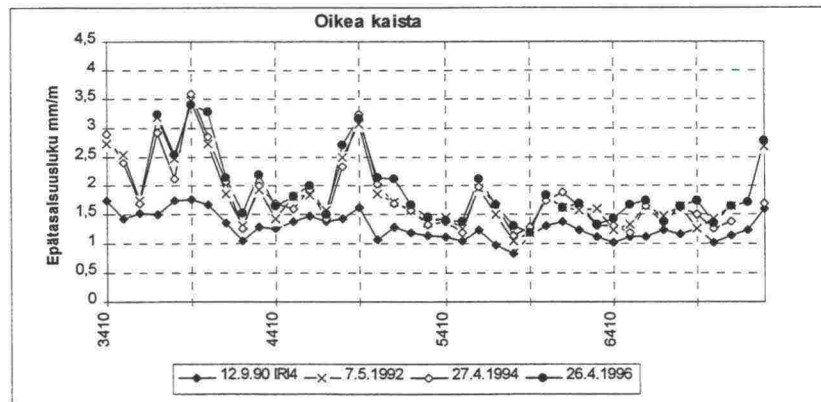
Seurantareportissa 2 /4/ on esitetty betonipäällysteen alkuvuosien mittaustulokset sekä muut suoritettut seurantaan liittyvät toimenpiteet. Päällysteen alkuosan, plv 3400-3700, oikean kaistan muuta tietä selvästi voimakkaamman urautumisen selvittämiseksi tehtiin vuosina 1993-94 mm valokuvatarkasteluita, joilla pyrittiin selvittämään karkean runkoaineen epätydyttävää jakautumaa päällysteessä. Myös muista mahdollisista, lähinnä työtekniikkoihin liittyvistä tekijöistä on kerrottu mainitussa raportissa. Koska päällysteen urautuminen on edelleenkin jatkunut ennakoitua voimakkaampana myös laajemminkin ko päällysteellä, on seuranta monilta muilta osin kevennetty ja pyritty keskittymään urautumista selittävien tekijöiden tutkimiseen.

Seuraavassa esitetään vain pelkistetyt mittaus- ja seurantatulokset ja luvuissa 4-6 arvioidaan tarkemmin päällysteen kuntoa sekä tarkemmin voimakkaaseen urautumiseen johtaneita syitä.

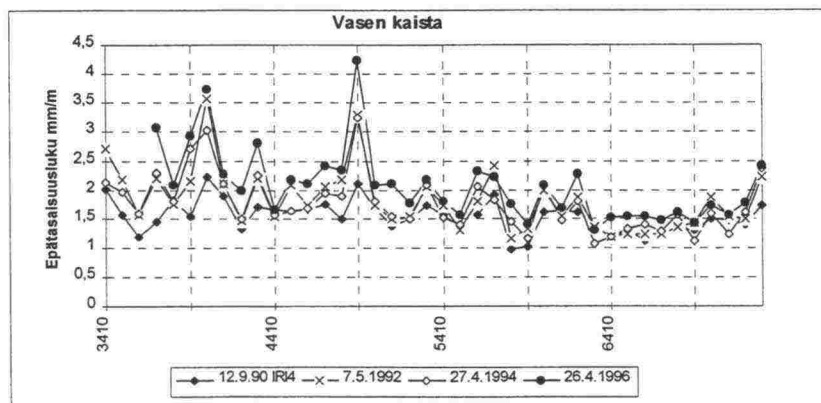
3.1 Mittaustulokset

3.1.1 Tasaisuusmittaukset

Oulun tiepiirin vuosina 1990, 1992, 1994 ja 1996 suorittamien kuntomittausten IRI-tasaisuuden arvot on osoitettu kaistoittain kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1: Betonipäällysteen IRI-tasaisuuden kehitys 1990-96, oikea kaista



Kuva 2: Betonipäällysteen IRI-tasaisuuden kehitys 1990-96, vasen kaista

3.1.2 Uramittaukset

Profiilimittauksina suoritettujen ura- ja poikkipinta-alamittausten tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Mittaustulosten keskiarvot on laskettu havaintotuloksista, joten vuoden 1996 mittaustulosten keskiarvoja aikaisempiin verrattaessa on otettava huomioon, että pahimmin urautuneen tien alkupään 300 m, joka on päällystetty asfaltilla syksyllä 1995, ei ole mukana keskiarvossa.

Taulukko 4: Betonipäällysteen profiilimittaustulokset 1992-96, vasen kaista

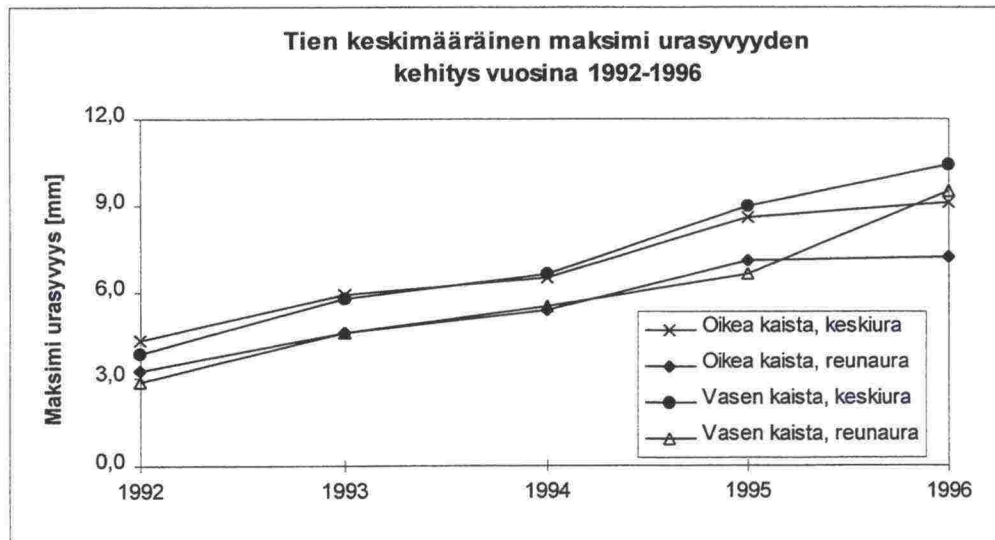
Paalu	Laatta n:o	Reunaura					Keskiura					Poikkipinta-alan				
		Maximi syvyys					Maximi syvyys					muutos				
		mm					mm					cm2				
		17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	26.4.-96	17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	31.5.-95	17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	26.4.-96
3320		8	12	14		5,5	11	16	20		5,5	158	68	38		
3338		6	10	12		6,5	12	15	19		6,5	150	68	40		
3356		5	8	10		7,5	9	12	15		8,5	166	70	34		
3374		5	8	11		2,5	7	10	12		7	206	78	64		
3392		5	8,5	11		3,5	10	12	14		4,5	204	74	60		
	keskiarvo	5,8	9,3	12		5,1	9,8	13	16		6,4	177	71,6	47		
	keskihajonta	1,3	1,7	1,5		2,0	1,9	2,4	3,4		1,5	26,4	4,3	14		
7346				11	15	15			9	13	15,5			30	48	20
7410				10	15	17,5			8	11	12,5			24	36	24
	keskiarvo			11	15	16,3			8,5	12	14			27	42	22
3420	1/2	1	3	4	6		3	6	6	9		82	30	16	18	
3520	43/44	1	2	2	4		3	6	7	10		58	40	8	20	
3620	83/84	1	3	5	7		5	8	10	13		70	38	16	22	
3720	123/124	5	5	6			4	7	9	11		82	36	20		
3820	163/164	2	3,5	5	6	9	3	4	4	6	7	58	38	8	16	20
3920	203/204	4	6	8	10	11,5	3	4	5	7	9,5	70	36	8	18	18
4020	245/246	4	5	7	9	11	3	6	8	10	13	68	40	12	18	22
4120	285/286	3	4,5	6	6	8	3	4	6	8	10,5	64	26	4	14	16
4220	325/326	3	5	5	6	6,5	3	5	6	7	8,5	50	36		16	16
4320	365/366	2	4	5	6	5,5	3	3,5	4	5	6,5	60	38	4	18	18
4420	405/406	3	2	3	4	5	2	3,5	4	5	5,5	56	32	6	20	18
4520	445/446	1	2	2	4	4,5	2	3	5	5	6	56	24	8	20	16
4620	485/486	1	3,5	3	5	6	3	3,5	4	6	7	50	36		22	16
4720	525/526	4	5	5	8	9,5	3	4,5	5	7	9	84	26	4	32	20
4820	565/566	4	5,5	5	8	9	4	5,5	6	8	10	52	30		32	18
4920	605/606	2	4	4	6	8	4	6,5	6	9	10,5	70	36		28	20
5025	649/650	2	4	4	6	8	5	6	7	9	10,5	64	36		26	18
5115	685/686	3	6,5	6	8	10,5	4	7	7	9	9,5	72	40	6	30	20
5220	727/728	3	4,5	5	8	10	4	6	7	10	11,5	74	30	8	34	14
5320	767/768	3	4,5	6	8	9	4	5	5	9	10	46	36	10	36	12
5420	807/808	3	4	6	8	9,5	7	8	9	11	12,5	74	42	10	24	14
5520	847/848	6	8	8	11	13,5	4	6	7	10	11,5	80	36		28	18
5615	885/886	6	8	9	14	16,5	7	11	11	13	16,5	80	32		30	20
5715	925/926	5	7,5	8	12	14,5	7	9	11	14	17	78	34	2	34	20
5815	965/966	2	5	5	7	10,5	4	5,5	7	10	10,5	68	40	4	34	22
5915	1005/1006	4	4,5	7	8	10,5	4	6	6	8	10,5	56	40	4	32	22
6015	1045/1046	5	7	8	9	10,5	4	7	7	8	10,5	50	38		30	16
6115	1085/1086	2	3,5	4	6	7	2	3,5	5	8	10	43	34	4	22	18
6215	1125/1126	1	3	4	6	7	4	5	6	8	10	70	30	8	30	20
6315	1165/1166	2	3,5	5	8	9	5	3,5	7	9	10	66	34	4	28	22
6415	1205/1206	2	5	6	8	8,5	3	4	4	7	8,5	52	30	4	30	24
6515	1245/1246	2	4	5	8	9,5	4	6	7	10	11,5	66	38	6	28	22
6615	1285/1286	3	4	5	7	9	4	5,5	6	9	9,5	92	38	12	32	24
6715	1325/1326	2	3	5	8	9,5	5	6	7	10	9,5	60	36	2	28	24
6815	1365/1366	3	5,5	6	8	11,5	4	6	7	8	11,5	62	32	6	32	24
6910	1403/1404	2	4,5	6	8	9	4	4	5	7	8,5	54	40	8	26	20
7010	1443/1444	4	5	5	7	9	2	4,5	6	9	10,5	72	32	2	30	20
7110	1483/1484	4	5,5	6	8	10	4	6	7		11	64	34	2		
7210	1523/1524	4	6,5	8	11	12,5	7	10	11	15	16	78	34	6	26	22
7310	1563/1564	2	3,5	6		12	3	6	9	13	14,5	82	46	20		
	keskiarvo	2,9	4,6	5,5	6,6	9,5	3,9	5,8	6,6	9,0	10,4	65,8	35,1	6,1	26,1	19,0
	keskihajonta	1,4	1,5	1,6	2,1	2,5	1,3	1,8	1,9	2,4	2,6	11,9	4,6	5,3	6,2	3,0

SEURANTATULOKSET

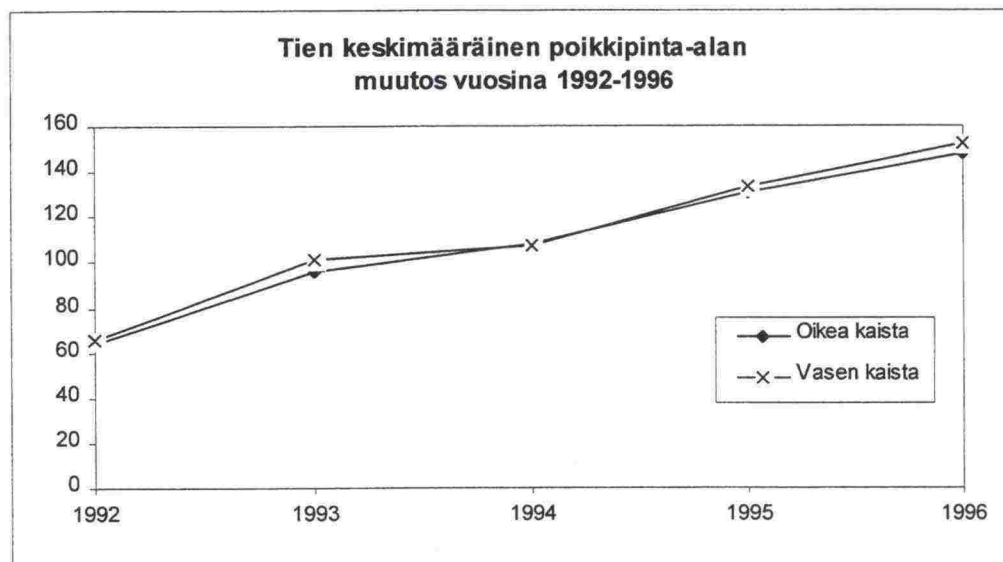
Taulukko 5: Betonipäällysteen profiilimittaustulokset 1992-96, oikea kaista

Paalu	Laatta n:o	Reunaura					Keskiura					Poikkipinta-alan				
		Maximi syvyys					Maximi syvyys					muutos				
		mm					mm					cm2				
		17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	26.4.-96	17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	26.4.-96	17.-92	28.6.-93	31.5.-94	31.5.-95	26.4.-96
3320		9	14	14		3,5	8	10	12		2,5	218				
3338		10	19	19		4,5	9	13	18		4,5	202	96	48		
3356		8	14	18		6,5	8	13	16		4	246	106	28		
3374		12	18	18		9	9	15	17		4,5	212	88	20		
3392		11	17	17		3	11	17	19		3,5	300	102	14		
	keskiarvo	10,0	16,4	17,2		5,3	9,3	13,6	16,4		3,8	236	98,0	27,5		
	keskihajonta	1,6	2,3	1,9		2,5	1,3	2,6	2,7		0,8	39,5	7,8	14,8		
7346				3	4	4,5			8	10	12,5			6	20	22
7410				6	8	10			8	11	13,5			38	20	16
7460				4	5	10			7	9	13,5			34	20	20
	keskiarvo			4,3	5,7	8,1			7,7	10,0	13,1			26,0	20,0	19,3
	keskihajonta				2,1					1,0				0,0		
3420	1/2	8	11	15	18		8	13	16	18		116	58	56	44	
3520	43/44	6	9,5	12	16		9	13	12	15		108	40	26	26	
3620	83/84	6	8	10	14		8	13	14	18		102	40	22	46	
3720	123/124	2	4	6	9	10,5	5	6,5	8	12	12,5	84	46	16	26	22
3820	163/164	4	6	8	11	12,5	5	6	9	12	12,5	82	36	16	34	26
3920	203/204	3	5,5	8	10	11	5	6	8	10	11,5	82	30	10	30	24
4020	245/246	4	5,5	7	9	9,5	6	9	10	12	14	86	38	10	38	16
4120	285/286	4	5,5	7	10	10,5	10	16	18	20	22	102	42	6	34	28
4220	325/326	2	5	6	8	8	4	5,5	6	9	9	78	24	8	28	16
4320	365/366	4	6	6	7	7,5	3	4	5	6	6,5	54	26	0	28	12
4420	405/406	5	5,5	5	6	7	4	4,5	6	7	9	68	26	2	20	12
4520	445/446	1	3	3	4	5	2	4	5	7	8	50	24	0	22	16
4620	485/486	4	4,5	5	6	7	3	4	5	7	7	56	32	6	24	16
4720	525/526	2	2,5	3	4	4	3	6	6	8	8,5	54	28	6	18	16
4820	565/566	2	4	4	6	7	3	4,5	4	6	7,5	60	32	18	22	24
4920	605/606	4	5,5	6	7	7,5	3	5	4	7	7,5	64	30	0	18	16
5025	649/650	3	4,5	6	8	10,5	5	6	7	10	11,5	56	24	12	26	14
5115	685/686	2	3	3	4	4	3	4	4	6	6,5	40	26	2	14	14
5220	727/728	1	2	2	3	3	2	2,5	3	5	5,5	56	30	16	14	16
5320	767/768	2	3	4	5	5,5	3	5,5	6	7	9,5	62	36	20	22	20
5420	807/808	3	3	4	5	5,5	4	5	5	6	8,5	44	22	14	10	28
5520	847/848	3	4,5	6	7	7	4	5	5	8	9,5	54	26	20	12	16
5615	885/886	3	5	5	6	8,5	3	4	6	8	9,5	50	30	18	14	22
5715	925/926	5	5	6	7	8,5	4	5	6	8	10	58	26	18	14	16
5815	965/966	2	4	3	4	5,5	3	4	4	6	8,5	64	32	10	14	16
5915	1005/1006	3	4	4	5	6,5	4	5	4	6	7,5	46	26	16	16	16
6015	1045/1046	3	4	4	6	6	4	4	3	6	6,5	44	26	10	16	18
6115	1085/1086	2	4	4	6	6,5	3	3,5	4	5	5,5	46	30	2	18	14
6215	1125/1126	3	3	3	6	6,5	4	4,5	4	6	7,5	54	30	8	20	18
6315	1165/1166	3	4	4	6	7	2	3,5	3	6	7,5	50	36	6	18	14
6415	1205/1206	4	4,5	5	6	7,5	4	4,5	5	7	7,5	64	28	4	20	14
6515	1245/1246	2	3	4	4	4,5	4	4,5	5	7	8,5	58	34	20	18	10
6615	1285/1286	4	4,5	5	6	7,5	5	6,5	6	9	9	54	30	14	18	18
6715	1325/1326	5	5,5	7	9	10,5	5	7	9	11	11,5	56	34	6	16	28
6815	1365/1366	3	3,5	5	6	8,5	5	5	6	8	10,5	72	34	12	20	28
6910	1403/1404	3	4	4	6	7	3	3,5	3	5	7,5	56	36	10	22	14
7010	1443/1444	2	3	3	5	5,5	3	4	4	6	7	52	28	18	22	14
7110	1483/1484	4	3,5	5	5	5,5	4	4,5	5	6	7,5	60	34	12	14	10
7210	1523/1524	2	2,5	2	4	4,5	5	5,5	7	8	8,5	64	28	14	18	10
7310	1563/1564	4	5	7	8	8	6	8	8	9	10,5	62	28	18	18	22
	keskiarvo	3,3	4,6	5,4	7,1	7,2	4,3	5,9	6,5	8,6	9,1	64,2	31,6	12,6	21,8	17,7
	keskihajonta	1,4	1,8	2,6	3,2	2,2	1,8	3,0	3,4	3,7	2,9	18,3	6,9	9,7	8,3	5,3

Tien keskimääräinen maksimi urasyvyyden kehitys on esitetty kuvassa 3 ja poikkipinta-alan muutos kuvassa 4.



Kuva 3: Betonipäällysteen keskimääräinen maksimi urasyvyyden kehitys 1992-96



Kuva 4: Betonipäällysteen keskimääräinen poikkipinta-alan muutos 1992-96

3.1.3 Valokuvatarkastelut

Valokuvatarkastelut betonin urautumisen syiden selvittämiseksi tehtiin vuosina 1993 ja 1994. Niiden tulokset on analysoitu seurantareportissa 2 /4/. Keskeinen kuvatarkastelussa tehty havainto oli, että tien alkupään pahimmin urautuneella kohdalla karkean runkoaineksen määrä päällysteen pinnalla ja 20 mm syvyydessä oli vain noin puolet siitä, mitä sen tasaisesti koko poikkileikkaukseen jakautuneena olisi tullut olla.

3.1.4 Kitkaominaisuudet

Päällysteen kitkaominaisuudet on esitetty seurantaraportissa 2 /4/. Koska mitään ennakoidusta poikkeavaa tien kitkaominaisuuksien suhteen ei ole tullut esiin, ei kitkamittauksia ole toistaiseksi jatkettu.

3.1.5 Valon paluuheijastavuus

Paluuheijastavuusmittaus tehtiin uudelle päällysteelle 20.8.1990. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 6. Mittauksia ei ole myöhemmin uusittu.

Taulukko 6: Paluuheijastavuusmittaustulokset 20.8.1990

	Keskiarvo	Vaihteluväli
Betonipäällyste	25,30	22,00...28,00
Asfalttipäällyste	6,75	5,00...8,00

3.1.6 Melumittaukset

Ohitusmelun mittaustulokset uudella päällysteellä on osoitettu taulukossa 7. Mittauksia ei ole myöhemmin uusittu.

Taulukko 7: Melumittaustulokset 20.8.1990, ohitusmelu dBA

	70 km/h		100 km/h	
	keskiarvo dBA	vaihteluväli dBA	keskiarvo dBA	vaihteluväli dBA
Betonipäällyste	79,0	77,2...81,3	85,2	88,3...86,7
Asfalttipäällyste	79,2	78,5...79,9	84,0	83,0...84,5

3.1.7 Betonilaattojen liikkeet

Laattojen liikkeet olivat mittauksissa 2.4. ja 3.4. 1991 ennako-odotusten mukaiset /4/, joten mittauksia ei ole myöhemmin uusittu.

3.1.8 Betonin laadun seuranta

Betonin laadun seurantatulokset ovat vuosilta 1990-92 ja 1996. Suoritetuissa kokeissa on määritetty laattanäytteistä valmistetuista testikappaleista taivutusvetolujuus, puristuslujuus, pakkas-suolakestävyys sekä suoritettu mikroskooppi- ja betonianalyysi. Aikaisempien tutkimusten täydentämiseksi muutamista koekappaleista määritettiin vuoden 1996 tutkimuksissa myöskin runkoaineen määrä. VTT:n seurantatutkimus vuodelta 1996 on liitteenä 2.

3.1.8.1 Taivutusvetolujuus

Taivutusvetolujuuden arvot jäivät vuoden 1996 tutkimuksissa selvästi alle rakennusvaiheessa lujuusvaatimuksena olleen 7 MN/m². Kahdesta laatasta otetuista näytteistä valmistettujen 12 palkin koestustulokset on esitetty taulukossa 8, jossa myös on esitetty vuosina 1990-92 tutkittujen laatoista 10/12 (asfaltoitu 1995) ja 1460/1462 otettujen näytteiden tulokset.

Taulukko 8: Taivutusvetolujuuden keskiarvot (VTT 1990, 1991, 1992 ja 1996)

Laatta	Taivutusvetolujuus MN/m ²				Huom
	1990	1991	1992	1996	
10/12	7,10	7,44	7,16	asfaltoitu	Yläpinta
10/12	7,94	7,97	7,52	asfaltoitu	Alapinta
1460/1462	6,90	7,24	7,09		Yläpinta
1460/1462	6,69	7,08	6,95		Alapinta
200				6,42	Yläpinta
200				6,24	Alapinta
1282				5,94	Yläpinta
1282				5,11	Alapinta

3.1.8.2 Puristuslujuus

Puristuslujuudet tutkituissa koekappaleissa ovat jonkin verran suurempia kuin aikaisempina vuosina 1990-92. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9: Puristuslujuuden keskiarvot (VTT 1990, 1991, 1992 ja 1996)

Laatta	Puristuslujuuden keskiarvo MN/m ²				Huom
	1990	1991	1992	1996	
10	66,8	75,0	71,7	asfaltoitu	Yläpinta
10	76,5	78,0	81,5	asfaltoitu	Alapinta
1460	64,3	72,7	76,2		Yläpinta
1460	69,6	78,0	80,5		Alapinta
200				87,7	Yläpinta
200				83,4	Alapinta
1282				80,1	Yläpinta
1282				80,1	Alapinta

3.1.8.3 Pakkas-suolakestävyys

Laattanäytteiden pakkas-suolakestävyyttä on tutkittu samoista laatoista kuin edellä taivutus-veto- ja puristuslujuutta vuosina 1990, 1991, 1992 ja 1996. Tutkimustulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10: Pakkas-suolakestävyyskokeen tulokset (VTT 1990, 1991, 1992 ja 1996)

	Tulokset kolmen näytteen keskiarvoja							
	Laatta 10/12			Laatta 1460/1462			Laatta 200	Laatta 1282
Mittaustulos	1990	1991	1992	1990	1991	1992	1996	1996
Tiheys ennen imeytystä g/m ³	2430	2460	2447	2510	2530	2553	2475	2531
Imeytyminen % (esikäsittely)	0,5	0,2	0,2	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
Tilavuuden muutos %								
10 kierrosta	- 0,1	0,0	0,0	0,1	- 0,1	0,2	0,1	2,1
25 kierrosta	- 0,1	0,5	0,1	1,6	0,0	1,9	0,5	6,1
35 kierrosta		0,0	0,1		0,6	3,1		
40 kierrosta							2,0	11,8
50 kierrosta	- 0,2	0,0	0,1	5,9	1,2	6,6	3,7	18,2

Vuosien 1990 ja -91 tuloksissa ei kokeen jälkeen ollut havaittavissa vaurioita. Laatan 1460 koekappaleiden pinnat olivat 1990 hieman ja 1991 selvemmin rapautuneet. Vuonna 1992 laatan 12 koekappaleissa oli kokeen jälkeen havaittavissa vähäistä rapautumista ja laatan 1462 koekappaleissa huomattavaa rapautumista. Vuoden 1996 tutkimuksissa oli kokeen jälkeen laatan 200 koekappaleissa havaittavissa jonkin verran rapautumista ja runkorakoiden irtoamista. Laatan 1282 koekappaleiden pinnat olivat rapautuneet voimakkaasti.

3.1.8.4 Mikroskooppianalyysi

Mikroskooppianalyysissä on näytteistä tutkittu em. vuosina näytteen homogeenisuutta, ilma-huokosrakennetta, mikrosäröilyä, kiteytymiä, vesi-sideainesuhdetta sekä karbonatisoitumista.

Homogeenisuus

Sekä aikaisempien että vuoden 1996 tutkimuksissa betoninäytteiden runkoaine-sideainejakautuma oli tasainen. Myös sementin hydrataatio oli tasainen.

Kaikkien tutkittujen näytteiden indeksi oli 1,0.

Ilmahuokosrakenne

Kaikissa tutkituissa näytteissä ilmahuokosia on ollut erittäin vähän. Näytteiden indeksi on vaihdellut välillä 0,5...1,5.

Mikrosäröily

Tutkimuksissa on todettu lievää mikrosäröilyä jo vuosien 1990-92 tarkaste-
luissa. Näytteiden indeksi on vaihdellut sekä pinnassa että syvemmillä
0...1,5. Vuoden 1996 tutkimuksessa näytteissä oli havaittavissa tyypillisiä
pakkasvaurioissa syntyviä säröjä. Lisäksi näytteissä oli tasainen, epäjatkuva
mikrosäröilyverkosto.

Vuoden 1996 näytteiden pintaosan indeksi vaihteli 2...3 ja syvemmillä
1,5...2,0.

Kiteytymät

Alkuvuosien näytteissä kiteytymiä ei ole havaittu. Vuoden 1996 näytteissä
betonin huokosissa oli hieman kalsiumhydroksidikiteytymiä. Indeksillä oli 0,5.

Vesi-sideainesuhde

Kaikkien tutkittujen näytteiden vesi-sideainesuhde on ollut tasainen ja varsin
pieni. Isojen runkorakeiden tartunnassa on todettu hieman kohonnut vesi-
sideainesuhde. Indeksillä on joka tutkimuksessa ollut 0,5.

Karbonatisoituminen

Näytteiden pinnan karbonatisoitumissyvyys on alkuvuosien tutkimuksissa
vaihdellut 0...3,0 mm. Vuoden 1996 tutkimuksissa kahdessa näytteessä karbo-
natisoitumissyvyys oli noin 1 mm.

3.1.8.5 Betonianalyysi

Vuoden 1996 tutkimuksessa suoritettiin kaikista tutkitusta laattanäytteestä
betonianalyysi betonin koostumuksen selvittämiseksi. Analyysin tulos on esi-
tetty taulukossa 11.

Taulukko 11: Betonin koostumus (VTT 1.10-30.12.1996)

Määritetyt tekijät	Laatu	Laatta nro			
		200	1282	1460	10
Sideaine	kg/m ³	460	384	413	459
Runkoaine	kg/m ³	1790	1952	1919	1820
Vesi	kg/m ³	199	194	190	192
Vesi-sideainesuhde		0,430	0,510	0,460	0,420
Vesi-kuiva-ainesuhde		0,088	0,083	0,081	0,084
Betonin tiheys, kuiva	kg/m ³	2331	2410	2402	2343
Betonin tiheys, vedellä imeytetty	kg/m ³	2450	2530	2523	2474
Huokostilavuus	%	119	121	121	129
Kemiallisesti sitoutunut vesi	kg/m ³	80	73	69	63

Betonin runkoaineen rakeisuus ja erityisesti karkeamman runkoaineen osuus ja jakautuneisuus on ollut aikaisemmissa tutkimuksissa keskeisesti esillä. Vuoden 1996 tutkimuksissa runkoaineen rakeisuus määritettiin kaikista, myös aikaisemmissa tutkimuksissa mukana olleista laattanäytteistä. Tulos on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12: Betonin runkoaineen rakeisuus (VTT 30.12.1996)

Seula # mm	Laatta nro				Vertailu ¹⁾
	200	1282	1460	10	
0,125	8,6	5,6	7,6	10,0	3,9
0,25	16,0	9,0	13,0	20,0	6,0
0,5	22,0	13,0	16,0	26,0	10,0
1	34,0	21,0	24,0	39,0	18,0
2	46,0	30,0	34,0	52,0	28,0
4	59,0	40,0	45,0	65,0	38,0
8	68,0	51,0	57,0	74,0	47,0
16	81,0	76,0	81,0	90,0	69,0
32	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹⁾ Suhteitustietojen perusteella laskettu vertailurunkoaine.

Runkoainerakeiden jakautumaa laatan pystysuunnassa selvitettiin kahdelta eri korkeudelta tehdyssä mittauksessa. Tulosten mukaan jakautuma oli tasaista. Kuitenkin näytteiden välillä oli suuria eroja. Laatalla 200 karkeiden runkoainerakeiden osuus oli selvästi pienempi kuin suhteitustietojen perusteella lasketulle vertailurunkoaineelle.

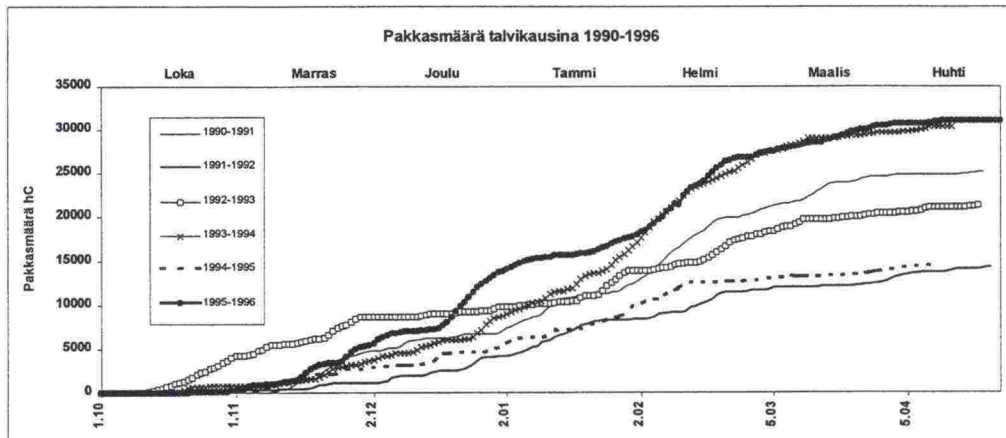
3.1.9 Routahavaintoihin liittyvät mittaukset

Routahavaintoihin liittyvät mittaukset on suoritettu instrumentoiduista neljästä tiepoikkileikkauksesta (A = pl 3375 (AB), B = pl 3422,5 (bet), C = pl 5142,5 (bet) ja D = pl 6342,5 (bet)). Mittauksilla seurataan roudan etenemistä rakenteessa, routanousua ja pohjaveden korkeusasemaa.

Säähavainnot on saatu Oulunsalon lentoaseman säähavaintoasemalta.

Pakkasmäärä

Oulunsalon lentoaseman lämpötilamittausten perusteella lasketut talvikausi-
en 1990-1996 pakkasmäärät on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Pakkasmäärä Oulunsalon lentoasemalla talvikausina 1990-96

Talvikaudet 1990/91, 1991/92, 1992/93 ja 1994/95 olivat leutoja $F < 25000$ h°C. Talvikaudet 1993/94 ja 1995/96 edustavat Oulun seudulla noin kerran kymmenessä vuodessa esiintyvää pakkasmäärää $F \sim 30000$ h°C.

Roudan tunkeutuminen

Mittausten mukaan pakkasmäärällä $< 25\,000$ h°C routaraja on edennyt rakennekerrosten ja pohjamaan rajalle ja routanousu tien keskilinjalla on ollut < 5 mm. Luonnollisen pohjamaan routanousu vertailupisteessä on ollut 30 - 70 mm. Suurimmillaan pakkasmäärä on ollut talvikautena 1993/94 ja 1995/96, 30 400 h°C. Tuolloin routaraja eteni 0,7 - 0,9 m pohjamaahan. Mittaustulokset vuosilta 1991-96 on esitetty liitteessä 1.

Routanousun seuranta

Alusrakenteiden routimisesta johtuvaa routanousua betonipäälysteellä on seurattu vaaituksin edellä mainituissa instrumentoiduissa poikkileikkauksissa. Talvikausina 1993/93 ja 1995/96, jolloin routaraja eteni 0,7 - 0,9 m pohjamaahan, tien keskilinjalla routanousu vaihteli 5 - 25 mm. Luonnollisen pohjamaan routanousu vertailupisteessä oli tuolloin 30 - 70 mm. Havaintopointeille A ja B, jotka päällystettiin asfaltilla syksyllä 1995 ei ole myöhempiä vaaituksia voitu suorittaa. Havaintopisteiden routanousumittausten tulokset on esitetty liitteessä 2.

3.1.10 Vaaitukset/painumamittaukset

Paaluvälillä n 3460-3540 tie on pehmeällä silttiperusmaalla, jossa painumat vuoden 1996 mittausten mukaan ovat enimmillään noin 110 mm. Paaluvälillä 3840-4060, jossa myös on pehmeä silttinen perusmaa ovat painumat enimmillään noin 130 mm. Painumat ovat selvästi silmin havaittavissa, kuitenkin ne ovat tasaisia, joten mitään laattojen saumoissa havaittavaa epätaisuutta ei ole havaittu.

3.2 Päällysteen kunnan seuranta

3.2.1 Kunto-/vaurioinventointi

Neljäs seurantaohjelman mukainen vaurioinventointi tehtiin kesällä 1966. Edellisen inventointikierroksen jälkeen päällysteen pinta oli edelleen kulunut ajokaistojen kohdilla. Nyt kulumisurat alkoivat olla paljain silmin erotettavissa. Aiemmin havaittu vakava pintapurkautuma pl 6230 kohdalla oli korjattu. Muutamia vastaavia kehittymässä olevia pintapurkautumia oli havaittavissa pl 5100-6200.

Kuluminen on paljastanut muutamia uusia saumarautoja Kokkokankaan sil-
lan eteläpuolella.

3.2.2 Saumojen tarkastukset

Kesällä 1993 asennetut saumalistat ovat kestäneet ja pysyneet paikoillaan. Urakulumisen seurauksena uran pohja alkaa ulottua saumalistaan ja olla suoraan liikenteen rasituksen alaisena. Syvimpien urien kohdalla saumalis-
tan kiinnitys betoniin on huonontunut. Betonin ja piennarasfaltin välinen alku-
peräinen saumamassa on monin paikoin irti päällysteestä tai poissa.

Paaluvälillä 7000-7100 sijaitsevista leveissä koesaumoissa, joissa on alku-
peräinen saumamassa, on tapahtunut lisääntyvässä määrin saumamassan
irtoamista ja poistumista. Saumamassan irtoaminen on ilmeisesti seurausta
pintakulumisesta ja siitä, että saumamassa joutuu suoraan liikenteen rasitta-
maksi.

3.2.3 Kuntotietojen ylläpito

Laattakohtaista kuntorekisteriä ylläpidetään PC-sovitteisena BETO 1.5- oh-
jelmistona Oulun kehitysyksikössä.

3.3 Liikenne-, liikenneturvallisuus- ja kelitiedot

3.3.1 Liikenteen koostumus ja määrä

Liikenteen määrän ja koostumuksen kehitys betonitiellä vuosina 1991 - 96
on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13: Liikennemäärän kehitys betonitiellä 1991 - 96

Vuosi	Keskivuorokausi- liikenne kpl	Raskaan liiken- teen osuus %	Raskaan liikenteen lu- kumäärä kpl
1991	12670	11	1394
1992	14100	9	1269
1993	13959	9	1256
1994	13335	8	1067
1995	13135	8	1051
1996	12900	8	1032

3.3.2 Liikenneturvallisuus

Betonipäällysteen vaikutusta liikenneturvallisuuteen on seurattu vertaamalla onnettomuusmääriä betonitiellä ja vertailukohteeksi valitulla asfalttipäällysteisellä tiellä. Tiedot perustuvat poliisin tietoon tulleisiin henkilövahinkoihin johtaneiden onnettomuuksien tilastointiin. Tiedot vertailuosuuksilta on valittu siten, että ramppien päiden kohdalla sattuneet onnettomuudet eivät ole vertailussa mukana. Tulokset on esitetty 2-vuosikausittain taulukossa 14.

Taulukko 14: Onnettomuudet betonitiellä ja vertailuosuudella 1990-1996

	1.10.1990-18.9.1992		19.9.1992-31.8.1994		1.9.1994-31.8.1996	
	Betoni	Asfaltti	Betoni	Asfaltti	Betoni	Asfaltti
Onnettomuuden vakavuus						
Kuolemaan johtanut onnettomuus	-	1	-	-	1	1
Vammautumiseen johtanut onnettomuus	-	4	3	-	2	2
Henkilövahinkoihin johtanut onn. yht.	-	5	3	-	3	3
Aineellisiin vahinkoihin johtanut onn. yht.	9	17	1	6	5	10
Kaikki onnettomuudet yhteensä	9	22	4	6	8	13
Onnettomuustyyppi						
Yksittäisonnettomuus	4	7	1	4	4	6
Eläinonnettomuus	-	3	-	1	-	1
Muu onnettomuus	5	12	3	1	4	6
Henkilövahinkoihin johtanut onnettomuus/valaistus						
Valoisa	-	2	2	-	2	3
Hämärä	-	1	-	-	-	-
Pimeä	-	-	1	-	-	-
Pimeä/tie valaistu	-	2	-	-	1	-
Kaikki onnettomuudet/valaistus						
Valoisa	5	11	2	4	5	7
Hämärä	-	2	-	-	-	-
Pimeä	-	-	2	-	-	-
Pimeä/tie valaistu	4	9	-	2	3	6
Henkilövahinkoihin johtanut onnettomuus/keli						
Kuiva	-	2	1	-	1	1
Märkä	-	1	-	-	-	-
Jäinen	-	2	2	-	1	1
Luminen	-	-	-	-	-	-
Sohjoinen	-	-	-	-	1	1
Kaikki onnettomuudet/keli						
Kuiva	3	9	1	4	3	4
Märkä	-	2	-	-	1	1
Jäinen	4	11	2	2	3	7
Luminen	1	-	-	-	-	-
Sohjoinen	1	-	1	-	1	1
Onnettomuusaste, Onn./100 milj. ajon.-km						
Henkilövahinkoihin joht. onnettomuudet	-	9,09	7,69	-		
Kaikki onnettomuudet	25,00	40,00	10,26	10,34		
Onnettomuustiheys, Onn./km						
Henkilövahinkoihin joht. onnettomuudet	-	1,25	0,77		0,76	0,75
Kaikki onnettomuudet	2,30	5,50	1,02	1,50	2,04	3,25
BET 4/365/0966-4887						
Ab 4/367/0000-4000						

3.3.3 Hoito ja liukkaudentorjunta

Kempeleen tiemestaripiiri on seurannut betonipäällysteen päivittäistä hoito- ja liukkaudentorjuntatoimenpiteiden tarvetta. Tien valmistumisen jälkeen, ennen uuden betonipäällysteen sementtiliiman kulumista päällyste oli liukkaampi kuin asfaltti. Koska myös betonipäällysteen lämpökäyttäytyminen - jäätyminen, sulaminen, huurtuminen - on erilainen ja eriaikainen kuin viereisillä asfalttipäällysteosuuksilla, käytti tiemestaripiiri kahtena ensimmäisenä talvena lisäkilvellä "Betonipäällyste" varustettua huomiomerkkiä. Päällysteen alkukulumisen jälkeen huomiomerkin käytöstä luovuttiin.

Liukkaudentorjuntatoimenpiteet betonipäällysteellä ovat olleet samat kuin tien muillakin osilla - liuossuolaa, suolahiekkaa sekä mekaaniset lumen ja jäänpoistotoimenpiteet. Betonipäällysteen liukkaudentorjunta on vaatinut jonkin verran lisähuomiota. Mm päällysteelle talvella ajoittain syntyvän kuuran liippautuminen liikenteen vaikutuksesta aiheuttaa liukkautta, jota on täytynyt torjua ainoastaan betonipäällysteellä.

Maalimerkintöjen pysyvyys betonipäällysteellä on osoittautunut huonoksi. Merkinnät kuluvat pois jo muutaman viikon kuluttua nastarengaskauden alettua.

3.3.4 Sää- ja kelihavainnot

Ouluntullin sääpalveluaseman myöhäisen käynnistymisen ja ajoittaisten toimintahäiriöiden vuoksi ei seurannassa ole saatu riittävää aineistoa päällysteen kuiva-/märkäkulumisen analysointia varten.

3.4 Kustannusseuranta

Kaikki takuuajan jälkeiset betonipäällysteeseen liittyvät korjaus- ja kunnostustoimenpiteet on tehty Kempeleen tiemestaripiirin toimesta ja kustannuksella.

Päällysteen takuukauden jälkeen on paalulla 5434 vasemmalla kaistalla yksittäinen puoli laattaa piikattu auki pinnasta 50-100 mm ja valettu uudestaan tiemestaripiirin toimesta kesällä 1995.

Muutamia yksittäisiä pintapurkauksia 10 * 20 cm² on päällystetty valuasfaltilla ja vähäistä päällysteen ja pientareen välisen sauman korjausta valuasfalttinauhalla on tehty kesällä 1995.

Muita korjaustoimenpiteitä päällysteellä ei ole tehty.

Toimenpiteiden kustannuksista ei ole pidetty tarkkaa kirjanpitoa, eikä se tässä vaiheessa enää ole tarkoituksenmukaistakaan, koska urautumisesta johtuneet päällystelaatan korjaustoimenpiteet on tehty asfaltoimalla eikä päällysteelle suunniteltua tasoitusjyrsintä-/hiontamenettelyä käyttäen.

4 PÄÄLLYSTEEN KUNTO

4.1 Tasaisuus

Päällysteen keskimääräinen IRI-tasaisuus on seurantakauden aikana pysynyt lähes vakiona 1,80-1,90 mm/m. Tasaisuuden vaihteluvälikään ei vuosien mittaan ole merkittävästi kasvanut, vaan on lähes koko seuranta-ajan vaihdellut rajoissa 1,0...4,3 mm/m. Suurimmat epätasaisuudet keskittyvät paaluväleille 3710-4050 ja 4850-4950 sekä aivan päällysteen pohjoispäähän paalulle 7330. Vuoden 1996 keskimääräinen IRI-tasaisuus oli 2,02 mm/m vasen kaista ja 1,90 mm/m oikea kaista. Vaihteluväli oli 1,28...3,59 mm/m vasen kaista ja 1,24...3,83 mm/m oikea kaista (kuvat 1 ja 2 sivulla 15).

Tasaisuus on edellä mainittuja poikkeavia paaluvälejä lukuunottamatta kohtuullinen. Autoilijat kokevat arvioinneissaan tiejakson yleisesti epätasaiseksi.

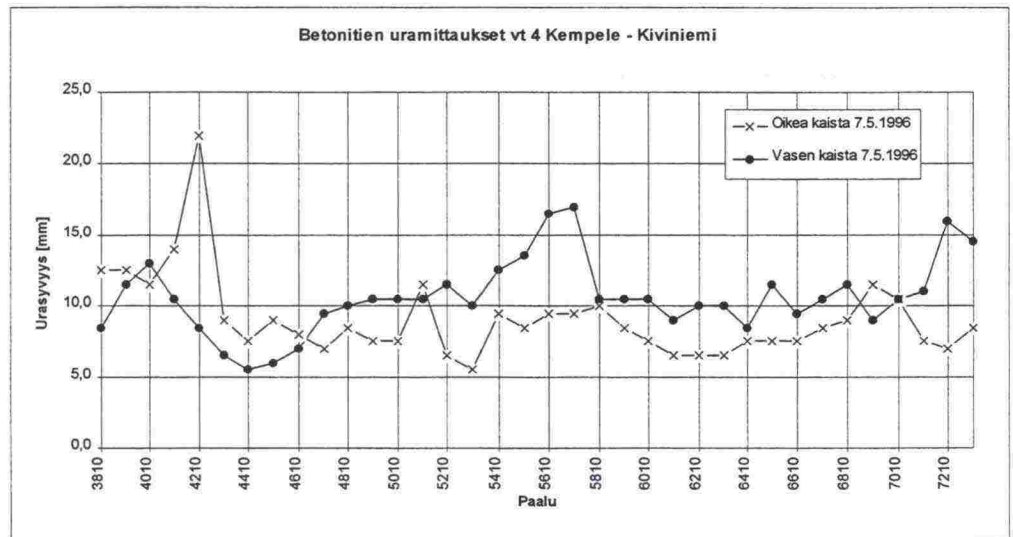
4.2 Kuluminen ja urautuminen

Päällyste on mitoitettu 35 mm:n kulumalle 30 vuoden pitoajalla eli 1,17 mm/v. Vuoden 1996 mittaustulosten mukaan keskimääräinen kulumispinta-ala oli 148 cm² oikealla kaistalla ja 152 cm vasemmalla kaistalla, mikä vastaa 0,7 mm:n vuotuista kulumista. Kuluminen ei ole ollut tasaista koko tiepoikkileikkauksessa, vaan se on keskittynyt ajouriin siten, että oikean kaistan keskimääräinen maksimiurasyvyys oli 8,2 mm ja vasemman 10 mm, mikä vastaa keskimääräistä vuotuista urasyvyyden lisäystä 1,4 mm oikea ja 1,7 mm/v vasen kaista. Maksimi urasyvyydet vaihtelivat oikealla kaistalla 5,5...22 mm ja vasemmalla kaistalla 5,5...16,5 mm.

Tiepiirin suorittama vuoden 1995 palvelutasomittaus osoitti oikealla kaistalla yli 20mm:n urasyvyyksiä, VTT:n suorittama profilometrimittaus osoitti tuolloin 18mm:n maksimiurasyvyyttä ja 200...274 cm² poikkipinta-alan muutosta. Urien poistamiseksi suunnitelman mukainen toimenpide olisi ollut hionta. Saatujen tarjousten perusteella Oulun tiepiiri ei kuitenkaan suorittanut hiontaa, vaan kustannussyistä päällysti pahimmin urautuneen tien eteläosan plv 3410 - 3710 eli 300 m:n matkalla SMA:lla.

Urautuminen jatkui talvikautena 1995/96 niin, että piirin palvelutasomittauksissa keväällä 1996 todettiin tien eteläpäässä vasemmalla kaistalla noin 300 m:n matkalla 19...20 mm:n urasyvyyksiä ja tien pohjoispäässä samoin vasemmalla kaistalla 17...21 mm:n urasyvyyksiä. Myös nämä tieosat, eteläpäästä plv 3710 - 4220 eli 510 m ja pohjoispäästä plv 7075 - 7330 eli 255 m, piiri jälleen kustannussyistä päällysti SMA:lla kesällä 1996. Betonipäällysteellä olevan tien pituus asfaltointien jälkeen on 2855 m.

Kuvassa 6 on esitetty VTT:n 7.5.1995 suorittaman profilimittauksen tulokset.



Kuva 6: Betonitien urasyvyudet profilometrimittauksessa 7.5.1996

Urautumisen hidastamiseksi ja liikenteen ohjaamiseksi pois urista Oulun tiepiiri suoritti lokakuun alussa 1996 ennen nastarengaskauden alkua betonipäällysteellä uramerkinnän. Merkintä toteutettiin 170*230*9 mm:n vanerilaa-toin, jotka liimattiin uran pohjalle. Myöhemmässä seurannassa selvitetään uramerkinnän vaikutus ajokäyttäytymiseen ja urautumisen kehittymiseen.

4.3 Kitkaominaisuudet

Betonipäällysteen kitkaominaisuudet tien valmistuttua v 1990 olivat: lukkojar-rutuskitka $\mu = 0,34$ ja sivukitka (8°) $\mu_s = 0,57$. Keväällä 1991 nastarengas-kauden päätyttyä suoritettussa mittauksessa vastaavat arvot olivat: lukkojar-rutuskitka 0,35 ja sivukitka 0,52. Kesäkauden liikenne vaikuttaa kitka-arvoja alentavasti, sillä saman vuoden syksyllä, ennen nastarengaskauden alkua suoritettussa mittauksessa arvot olivat: lukkojarrutuskitka 0,22 ja sivukitka 0,43. AB-päällysteellä vastaavat arvot ovat olleet keskimäärin noin 0,2 yksik-köä korkeammat.

4.4 Valon paluuheijastavuus

Paluuheijastavuusmittauksia on tehty ainoastaan päällysteen valmistumis-vuonna ennen käyttöönottoa. Mittausten keskiarvo oli 25,3, vaihteluvälin ol-lessa 22...28. Viereisellä uudella asfalttipäällysteellä vastaavat arvot olivat 6,75 ja 5...8.

4.5 Melutaso

Melumittauksia betonipäällysteellä on tehty ainoastaan päällysteen valmistumisvuonna ennen käyttöönottoa. Ohitusmelutaso 70 km/h nopeudella vaihteli 77,2...81,3 dBA keskiarvon ollessa 79. Nopeudella 100 km/h vastaavat arvot olivat 83,8...86,7 ja 85,2. Asfalttipäällysteellä meluarvot olivat kutakuinkin samat: 70 km/h nopeudella 79,2 dBA ja 100 km/h nopeudella 84,0 dBA.

4.6 Laattojen liikkuminen

Yksittäisten betonilaattojen lämpötilaerojen aiheuttamia liikkeitä oli tarkoitus seurata vaaituksin ja mittauksin. Osoittautui kuitenkin vaikeaksi saavuttaa ja todeta lämpötilasuhteet, jossa laatan ylä- ja alapinnan välinen lämpötilaero olisi riittävän suuri merkittävien liikkeiden ja käyritysten syntymiseksi laatasta. Tehdyissä mittauksissa laattojen keskimääräinen käyrityminen oli 0,015...0,035 mm/°C/2,2...3,3 m laskettuna laatan keskikohdan ja reunojen välillä.

Keskimääräinen lämpölaajeneminen oli ennako-odotusten mukainen: laatan pituussuunnassa 0,085...0,14 mm/°C/4,8 m ja laatan poikkisuunnassa 0,125...0,155 mm/°C/ 4,3m. Saumarakojen suuruus muuttui keskimäärin 0,25 mm, vaihteluväli oli 0,10...0,45 mm vastaten keskimäärin 0,025 mm/°C.

4.7 Betonin laatu ja laadun vaihtelut

4.7.1 Betonin lujuus

VTT Rakennustekniikan syksyllä 1996 suorittamien tutkimusten ja analyysien mukaan tutkittujen näytteiden taivutusvetolujuudet olivat selvästi alempia kuin vuosina 1990-1992 suoritetuissa kokeissa ja jäivät alle suunnitteluvaatimuksen 7 MN/m².

Puristuslujuudet ylittivät selvästi suunnitteluvaatimuksen 55 MN/m². Vuoden 1996 kokeissa ne vaihtelivat välillä 80,1...87,7 MN/m² ja olivat jonkin verran suurempia kuin aikaisemmissa kokeissa.

Taivutusvetolujuuden suhde puristuslujuuteen on pienentynyt seurantajakson aikana taulukossa 15 osoitetulla tavalla.

Taulukko 15: Taivutusvetolujuuden ja puristuslujuuden suhteen pienentymä seurantajakson aikana

Tutkimusvuosi	1990	1991	1992	1996
Taivutusvetolujuus/puristuslujuus	0,103	0,097	0,09	0,072

4.7.2 Betonin säilyvyys

Suunnitteluvaatimuksena Oulun betonikoetielle oli, että pakkas- suolako-keessa koekappaleen tilavuuden pientymä ei saanut ylittää 3% 50 kieroksen aikana. Taulukossa 10 on edellä todettu, että jo vuoden 1990 tutkimuksissa laatan 1460 rapautuma oli 5,9% ja vuoden 1992 kokeessa 6,1%. Vuoden 1996 tutkimuksessa molempien tutkittujen laattojen rapautuma ylitti suunnitteluvaatimuksen, laatta 1282 6-kertaisesti. Koetuloksista voidaan myös havaita laadun suuri vaihtelu eri laatoilla ja koekappaleilla.

Vuoden 1996 mikroskooppianalyysi vahvistaa molemmissa tutkituissa laatoissa pakkasen aiheuttamat pintavauriot. Erityisen voimakasta vaurioituminen oli laatussa 1282, jossa pinnasta oli rapautunut jo näytteenottohetkellä noin 50 mm:n kerros betonia. Näyte oli otettu pientareelta, jossa ei ole ollut ajoneuvoliikennettä.

4.7.3 Betonin koostumus

Ennakoitua suuremman urautumisen vuoksi on betonin laatua selvitetty jo aikaisemmin erilaisin tutkimuksin ja analyysein. Selvityksissä on todettu, että betonin laatu vaihtelee ja että erityisesti karkean runkoaineen jakautuma ei kaikissa tutkituissa laatoissa ole vaaditun mukainen. Karkean runkoaineen jakautumaa selvitettiin valokuva-analyysein vuosina 1993 ja 94. Analyysien perusteella on voitu selvittää, että voimakkaasti urautuneilla kohdilla 8...32 mm:n karkean runkoaineen osuus on ollut vain puolet siitä mitä sen suhteutuksen mukaan tulisi olla. Karkeampaa runkoainesta ei tavattu suhteutuksen edellyttämää määrää vielä 10-15 mm:n syvyydelläkään uran pohjassa. Tarkemmin valokuva-analyysejä on selostettu seurantaraportissa 2 /4/.

Betonianalyyseissä sideainemäärä on todettu suunnitteluvaatimusten mukaiseksi (vähintään 350 kg/m³).

Runkoaineen osalta koostumuksessa on betonianalyyseissä todettu suurta vaihtelua (taulukko 11). Osalta tutkittuja laattoja (laatat 1282 ja 1460) runkoaineen rakeisuus oli lähellä vertailurunkoainetta. Laatoissa 10 ja 200 runkoaine oli rakeisuudeltaan hienompaa kuin vertailurunkoaine. Laatoissa 200 ja 1460 sekä erityisen selvästi laatussa 10 karkeiden (8-32 mm) runkoainerakeiden osuus jää alle ohjearvosta.

Betonitien pahimmin urautuneet kohdat ovat 3410 - 3700 (oikea kaista), 4110 - 4210 (oikea kaista) , 5410 - 5710 (vasen kaista) ja 7210 - 7310 (vasen kaista). Laatta 10 sijaitsee tieosuudella, jossa urautuminen oli kaikkein nopeinta, ja joka jouduttiin päällystämään jo vuonna 1995. Laatan karkeiden runkoainerakeiden vähäinen osuus selittää osaltaan voimakasta urautumista.

4.8 Roudan tunkeutuminen ja routanousu

Päällysrakenteen mitoituksen lähtökohta oli, että rakenne on routamitoitettu Tielaitoksen ohjeiden mukaan kerran 30 vuodessa esiintyvälle pakkasmäärälle $F_{30} = 47000 \text{ h}^\circ\text{C}$. Mitoitus johti F-luokan pohjamaalla 190 cm:n ja E-luokan pohjamaalla 142 cm:n päällysrakennepaksuuteen. Routamitoitettu suodatinhiekkakerros on 136 - 88 cm.

Betonipäällysteen osuudella roudan tunkeutumista on seurattu lähes vuotuisin havainnoin ja vaaituksin. Pakkasmäärällä $< 25000 \text{ h}^\circ\text{C}$ routaraja on edennyt rakennekerrosten ja pohjamaan rajalle ja routanousu tien keskilinjalla on ollut $< 5 \text{ mm}$. Luonnollisen pohjamaan routanousu vertailupisteessä on ollut 30 - 70 mm. Suurimmillaan pakkasmäärä on ollut talvikausina 1993/94 ja 1995/96 noin $30500 \text{ h}^\circ\text{C}$. Tuolloin routaraja eteni 0,7 - 0,9 m pohjamaan. Tien keskilinjalla routanousu vaihteli tuolloin 5 - 25 mm. Havaittu routanousu on ollut tasaista, eikä minkäänlaisia vaurioita ole ollut havaittavissa.

4.9 Painumat

Paaluvälillä n 3400 - 5000, 5400 - 5700 ja 6800 - 7300 betonipäällyste on penkereellä. Painumia on seurattu lähes säännöllisin vaaituksin. Suurimmillaan painumia on havaittu paaluvälillä 3410 - 4080, jossa mitattu maksimipainuma on n. 13 cm ja jossa painuma on jatkunut vuoden 1996 mittaukseen saakka. Painumat ovat olleet tasaisia, eikä laattojen välisiä liikkeitä tai painumaeroja ole ilmaantunut. Tarkkoja mittaustuloksia ei ole saatu asfaltoituilla päällysteosuuksilla 3410 - 4220 ja 7075 - 7330.

5 TULOSTEN JA PÄÄLLYSTEEN TILAN ARVIOINTI

5.1 Betonin laatu

Vuoden 1996 betonianalyysin mukaan merkittävimpänä tekijänä päällysteen ennakoitua nopeampaan urautumiseen ja suoranaiseen rapautumiseen voidaan pitää betonin heikkoa pakkaskestävyyttä. Huonon pakkaskestävyyden syynä on pidetty sitä, ettei betonia oltu huokostettu, vaikka vesi-sementti-suhde tehtyjen kokeiden perusteella oli noin 0,4 - 0,5 ja puristuslujuus vain 55 MN/m².

Työnaikaisten laadunseurantamittausten mukaan betonin lujuus täytti asetetun puristuslujuusvaatimuksen 55 MN/m² sekä taivutusvetolujuuden 7 MN/m² (90 vrk). Kuitenkin jo vuoden 1990 ja 1992 tutkimuksissa on ilmennyt taivutusvetolujuuden alituksia ja kaikki vuoden 1996 laattanäytteet alittivat vaatimuksen.

Kaikki urautumista ja kuluneisuutta koskevat tutkimukset ja betonianalyysit osoittavat, että betonin laatu on vaihdellut huomattavasti. Tutkimukset osoittavat lisäksi selkeää vaihtelua karkean runkoaineen määrässä ja jakautumassa.

Heikon pakkaskestävyyden, laadun vaihtelun ja suuren hajonnan syitä ei voi yksiselitteisesti jälkikäteen todeta, sillä työnaikaisesta laadunvalvonta-aineistosta ei löydy laatukriteerien alituksia. Myöskään tiellä havaitut rapautumat tai runkoaineslajittumat eivät ole laaja-alaisia tai esiinny johdonmukaisesti. Rakennustyössä mukana olleiden käsityksen mukaan levitin ja suuren maksimiraekoon (32 mm) omaava massa eivät olleet yhteensopivat, mikä aiheutti massan työstämisessä suuria vaikeuksia. Mm massan huokostaminen levittimellä ei onnistunut, minkä vuoksi huokostamisvaatimuksesta oli työmaakokouksessa luovuttu.

5.2 Runkoaines

Betonin runkoaines koostui kolmesta lajitteesta: 0 - 8 mm Tannilan Msr, 8 - 16 mm Hoikkakallion diabaasi ja 16 - 32 mm Hoikkakallion diabaasi.

Karkean runkoaineen tutkitut ominaisuudet olivat: tiheys 2.96 (TIE 235-menetelmä), haurausarvo 12 (TIE 232 B-menetelmä), hioutuvuusarvo 1.6 (TIE 237-menetelmä), muotoarvo 3.2/2.0 (TIE 233- ja TIE 238-menetelmä) sekä Los-Angelesarvo 11 (TIE 231-menetelmä).

Tutkimusten mukaan runkoaineen laadun suhteen ei ole ilmennyt tutkimuksista poikkeavaa.

Karkeiden runkoainesrakeiden jakautuman ja määrän suhteen on todettu puutteita, jotka on käsitelty luvussa 4.7.3.

Myöhemmissä kotimaisissa ja ulkomaisissa betonipäällysteissä karkean runkoaineen maksimiraekoko on ollut joko 18 mm tai pienempi. On hyvin todennäköistä, että maksimiraekoon ollessa > 18 mm massan työstöominaisuudet vaikeutuvat ja lajittumisalttius kasvaa. Näillä ominaisuuksilla ei kuitenkaan ole osoitettu yhteyttä pakkaskestävyyteen ja rapautumiseen.

5.3 Valu

Päälystemassan levityksen suoritti hollantilainen COBETON Cat 350 betonilevittimellä, johon oli liitetty saumautojen asennuslaite ja jälkitasain. Valu suoritettiin yhtenä 22 cm:n kerroksena. Työmaapäiväkirjojen mukaan levitystyön käynnistyminen ja eteneminen 7.6.-13.6 oli hidasta. Myös teknisistä ongelmista johtuen eteneminen oli hidasta, jolloin massan liiallinen tärytys oli mahdollista. Tästä saattoi olla seurauksena karkean runkoaineksen rikastuminen laatan pohjalle ja hienomman aineksen nousu pintaan. Tätä ilmiötä tukee kyseisellä tienkohdalla urista otettujen valokuvien analyysitulokset, joissa on osoitettu, että karkeampaa 16 - 32 mm:n runkoainesta ei ole laatan pintaosassa suhteutuksen edellyttämää määrää. Urautumisen ja kulumisen on todettu alkaneen ja olleen suurinta juuri tällä tienkohdalla.

5.4 Jälkihoito

Tuoreen laatan suojaaminen liian nopealta kuivumiselta hoidettiin aluksi Scanprotect 213 nestemäisellä jälkihoitoaineella, joka ruiskutettiin viimeistelylle ja karhennetulle pinnalle. Kun ilmeni laattojen voimakasta pintahalkeilua, käytettiin paalulta 4175 alkaen jälkihoitoaineen lisäksi muovisia tai jutekankaisia suojapeitteitä. Jälkihoidon merkitystä päälysteen myöhempään käyttäytymiseen, mm pakkaskestävyyteen ja urautumiseen on vaikea arvioida. Syntyneet 0,2 mm suuremmat halkeamat, joita ilmeni paikkapaikoin suojaustavasta riippumatta, injektointiin Araldit By 158 epoksilla, eikä halkeamista ole ollut myöhemmässä käytössä ongelmia.

5.5 Liukkaudentorjunta

Kempeleen tiemestaripiiri on vastannut tien päivittäisestä hoidosta ja kunnossapidosta. Ennen betonipäälysteen sementtiliiman kulumista päälyste oli liukkaampi kuin asfaltti. Koska myös betonipäälysteen lämpökäyttäytyminen - jäätyminen, sulaminen, huurtuminen - on erilainen ja eriaikainen kuin viereisillä asfalttipäälysteosuuksilla, käytti tiemestaripiiri kahtena ensimmäisenä talvena lisäksi "Betonipäälyste" varustettua huomiomerkkiä. Päälysteen alkukulumisen jälkeen huomiomerkin käytöstä luovuttiin.

Liukkaudentorjuntatoimenpiteet Oulun betonipäälysteellä ovat olleet samat kuin tien muillakin osilla: liuossuolaa, suolahiekkaa sekä mekaaniset lumen ja jäänpoistotoimenpiteet. Betonipäälysteen liukkaudentorjunta on vaatinut jonkin verran lisähuomiota. Mm päälysteelle talvella ajoittain syntyvän kuuran liippautuminen liikenteen vaikutuksesta aiheuttaa liukkautta, jota on täytynyt torjua ainoastaan betonipäälysteellä.

Liukkaudentorjunnassa käytetyn suolan merkitystä pakkasrapautumiseen ei ole erikseen jälkikäteen selvitetty, sillä laadunseurannan mukaan betoni täytti asetetut vaatimukset.

Eroa asfalttipäälysteisen tien tavanomaiseen hoitoon pidetään merkityksettömänä.

5.6 Kunnostustoimenpiteet

Saumat

Päällysteen saumaus suoritettiin rakentamisen yhteydessä Moosgummi-Rundsnur EPPM-saumanauhaa ja Superplastic-saumamassaa käyttäen. Ensimmäisenä talvikautena 1990-91 saumamassa irtosi lähes kaikista saumoista, minkä vuoksi urakoitsija kesällä 1991 uusi kaikki normaalilevyiset poikkisaumat Moosgummi-Rundsnur EPPM-saumanauhaa ja Superplastic Arctic Grade saumamassaa käyttäen. Eräänä syynä saumamassan irtoamiseen on arvioitu olleen saumaurien täyttö lähes päällystepinnan tasoon ja paikoin jopa ylikin.

Talvikautena 1992-93 uusittu saumamassa irtosi hyvin laajassa mitassa, minkä vuoksi keskisauma ja kaikki normaalilevyiset poikkisaumat uusittiin elastisia Phoenix SPDM-kumisia saumalistoja käyttäen. Lisäaineita tai tartukkeita ei käytetty, vaan saumalistan muoto saa aikaan riittävän tartunnan. Ennen listojen asennusta vanha saumamassa poistettiin ja saumat sahattiin 10 mm leveinä aikaisempaa hieman syvemmiksi. Saumalistojen asennustaso oli noin 2 cm päällystepinnan alapuolelle.

Listasaumaus on toiminut ilman mitään vaurioita asennuksesta lähtien.

Laatat

Päällysteen takuukauden jälkeen on paalulla 5434 vasemmalla kaistalla yksittäinen puoli laattaa piikattu auki pinnasta 50-100 mm ja valettu uudestaan tiemestaripiirin toimesta kesällä 1995.

Muutamia yksittäisiä pintapurkauksia 10 * 20 cm² on päällystetty valuasfaltilla ja vähäistä päällysteen ja pientareen välisen sauman korjausta valuasfalttinauhalla on tehty kesällä 1995. Muita korjaustoimenpiteitä päällysteellä ei ole tehty.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

6.1 Rakenteellisen suunnittelun ja mitoitusperusteet

6.1.1 Alus- ja päällysrakenteet

Pohjamaa betonikoetien kohdalla on erittäin routivaa silttimoreenia ja pohjaveden pinta lähellä maanpintaa. Rakennekerrokset suunniteltiin routamitoitettuna seuraavin oletuksin:

- tiejaksolla on erittäin vaikeat hydrologiset olosuhteet
- mitoittava pakkasmäärä $F_{30} = 47000 \text{ h}^\circ\text{C}$
- tie on moottoritie.

Pohjamaan kantavuusluokan F alueella routamitoitetun päällysrakenteen paksuudeksi valittiin 190 cm. Kantavuusluokan E alueella vastaavasti 142 cm. Suodatinhiekkakerroksen päälle rakennettiin kalliomurskeesta 22 cm paksu jakava kerros. Betonilaatan alustan kantavuusvaatimus oli $E > 184 \text{ MN/m}^2$. Alustan tasaisuus ja kantavuus varmistettiin jakavan kerroksen päälle rakennetulla 12 cm:n maabetonikerroksella. Betonilaatta rakennettiin 22 cm paksuna, puristuslujuudeltaan 55 MN/m^2 betonilaattana.

Ensimmäisten kuuden talvikauden aikana pakkasmäärä on ollut suurimmillaan talvikausina 1993/94 ja 1995/96, noin $30500 \text{ h}^\circ\text{C}$, jolloin routaraja eteni 0,7 - 0,9 m pohjamaahan. Tien keskiliinjan routanousu vaihteli tuolloin 5 - 25 mm. Havaittu routanousu on ollut tasaista, eikä routanoususta tai kantavuuspuutteista johtuvia vaurioita päällysrakenteissa tai päällysteessä ole ollut havaittavissa.

Mittaustulosten perusteella alus- ja päällysrakenteet näyttävät toimineen suunnitellulla tavalla. Pengerpainuma on ollut paikoin suurta, jopa 13 cm. Kuitenkin painuminen on merkittävästi hidastunut ja näyttää tällä hetkellä loppuneen. Haitallista ja rakenteille vahingollista lisäpainumaa tuskin enää tapahtuu.

6.1.2 Betonilaatta

Betonilaatan mitoituksen perusteena olleet taivutusveto- ja puristuslujuusvaatimukset toteutuivat työvaiheen laadunseurannassa. Myöhemmissä tutkimuksissa taivutusvetolujuuden on todettu selvästi alittavan mitoitusvaatimuksen 7 MN/m^2 .

Liikennekuormitus on tarkastelujaksolla 1990 - 96 ollut 10...12% laskentaperusteena oletettua KVL-ennustetta suurempi. Raskaan liikenteen osuus on kuitenkin jäänyt 8...10%:iin, kun se laskelmissa on oletettu 14%:ksi. Kokonaiskuormitus voidaan todeta olleen jokseenkin mitoituslaskelmien mukainen. Betonilaatoissa ei ole ilmennyt muutamaa yksittäistä purkautumaa lukuunottamatta vaurioita, halkeamia tai odottamatonta käyttäytymistä, joten laatan kuormitusmitoitus näyttää olleen riittävä.

Päällysteen pakkaskestävyys on todettu riittämättömäksi. Samoin on todettu alituksia runkoainesjakautuman ja karkeiden runkoainesrakeiden määrän

suhteen. Päällysteen kesto nastarengaskulutusta vastaan ei ole ollut riittävä, sillä lähes koko tiejakso on urautunut suunniteltua nopeammin.

Yksittäisistä osatekijöistä merkittävin tekijä päällysteen rapautumiseen ja voimakkaaseen uramuodostukseen on ilmeisesti betonin heikko pakkaskestävyys, johon syynä näyttää olevan se, että betonia ei ole huokostettu, vaikka vesisementtisuhte tehtyjen kokeiden perusteella oli noin 0,4 - 0,5.

6.2 Routamitoitus ja -rakenteet

Betonipäällyste on mitoitettu kerran 30 vuodessa esiintyvälle pakkaskertymälle $F_{30} = 47000 \text{ h}^\circ\text{C}$. Suurimmillaan pakkaskertymä on ollut noin 30500 h°C . Mitään haitallista ja epätasaista routanousua tuolloin ei havaittu. Todellinen käsitys routamitoituksen vaikutuksesta rakenteen käyttäytymiseen saadaan kun pakkaskertymä lähenee mitoituksen perusteena ollutta pakkaskertymää.

6.3 Taloudellisuus

Betonipäällysteen koko pitoiän kattavaa taloudellisuusseurantaa varten on taltioitu toistaiseksi sekä rakentamisen että tehtyjen korjaustoimenpiteiden kustannukset. Hionta tuli ajankohtaiseksi pahimmin urautuneella 300 metrin matkalla tien eteläpäässä jo vuonna 1995. Tuolloin mitatut maksimiurasyvydet olivat 19...20 mm. Tiepiirin pyytämät tarjoukset timanttihionnasta olivat kertaluokkaa 85...90 mk/m^2 , mikä oli noin neljä kertaa kalliimpi kuin esim. Betonipäällysteen valinta ja talous-julkaisun /7/ mukainen timanttihionnan yksikkökustannus (20 mk/m^2). Kustannussyistä piiri päätti päällystää ko tienkohdan asfaltilla ja jatkoi samalla menetelmällä vuonna 1996 noin 500 m edelleen eteläpäästä tietä ja 300 m tien pohjoispäästä.

Todellisten pitoiän kattavien kustannusten seuranta ei tehtyjen ratkaisujen jälkeen ole enää tarkoituksenmukaista.

6.4 Jatkoseuranta

Syksyllä 1996 suoritettiin nyt vielä betonipäällysteenä toimivalla 2855 m:n osuudella uramerkintä, jonka vaikutuksia uramuodostuksen kehitykseen seurataan toistaiseksi vuotuisin profiilimittauksin.

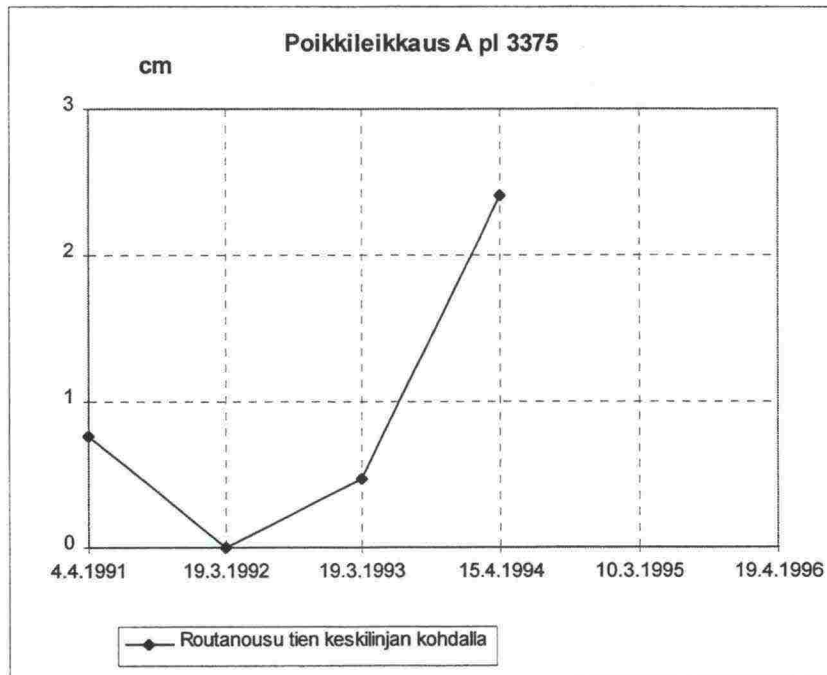
7 LIITTEET

- 1a. Routahavainnot 1991-96. Roudan syvyys, poikkileikkaukset A-B
- 1b. Routahavainnot 1991-96. Roudan syvyys, poikkileikkaukset C-D
- 2a. Routahavainnot 1991-96. Routanousu, poikkileikkaukset A-B
- 2b. Routahavainnot 1991-96. Routanousu, poikkileikkaukset C-D
- 3. Betonitein seurantatutkimukset vuodelta 1996. VTT Rakennustekniikka, Oulu

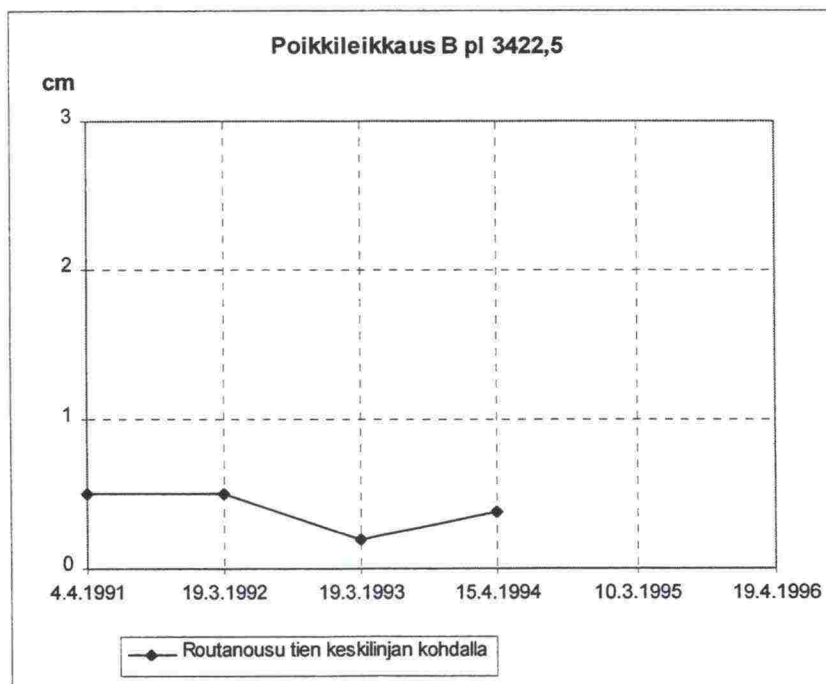
8 VIITEKIRJALLISUUS

- /1/ Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta
- /2/ Seurantasuunnitelma
- /3/ Seurantaraportti 1
- /4/ Seurantaraportti 2
- /5/ Betonipäällysteet, väliaikaiset ohjeet, Tiehallitus 1990
- /6/ Betonipäällysteiden kunnon seuranta- ja kunnossapito-ohjeet, Tielaitos 1992
- /7/ Betonipäällysteiden valinta ja talous, Tielaitos 1993
- /8/ Ekho T. 1996. Rapport Nr 9D4/R96003 Ringbaneforsøk i veislitern. Utsagde elementer fra vei Finland-Sverige. Norcem A/S Brevik. Norge 1996
- /9/ Kouva T. 1991. VT 4 Betonitien seurantatutkimus. Insinööritoimisto Oulun Teknillinen Oppilaitos 1991
- /10/ Lahdensuo P. 1995. VT 4/8 Kempele-Kiviniemi, Betonipäällysteen kuluminen 1990-1995. Insinööritoimisto Oulun Teknillinen Oppilaitos 1995

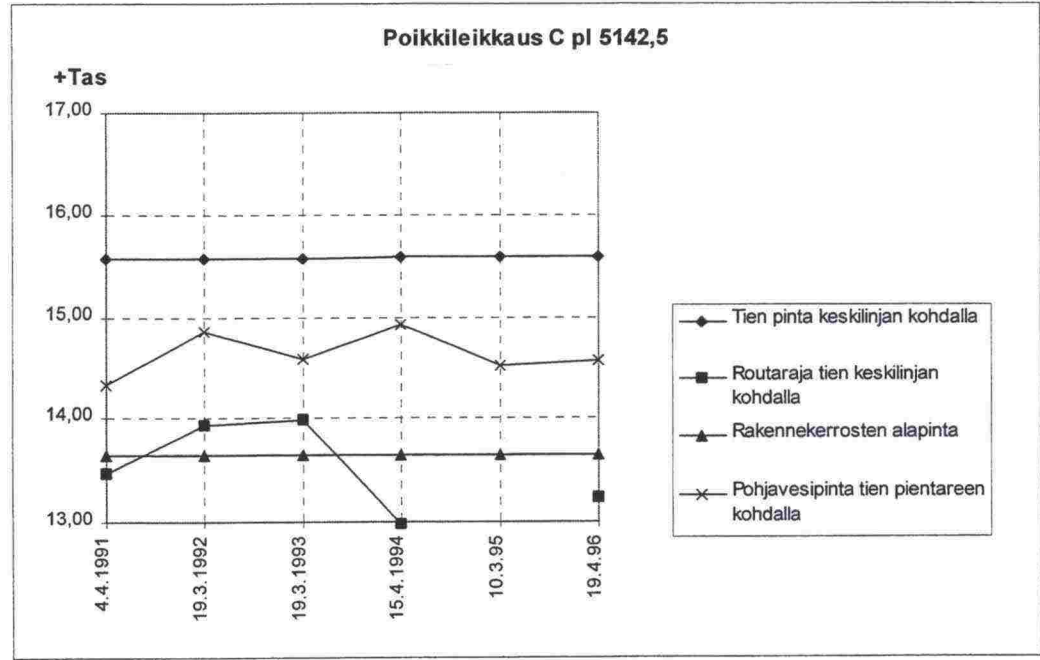
ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



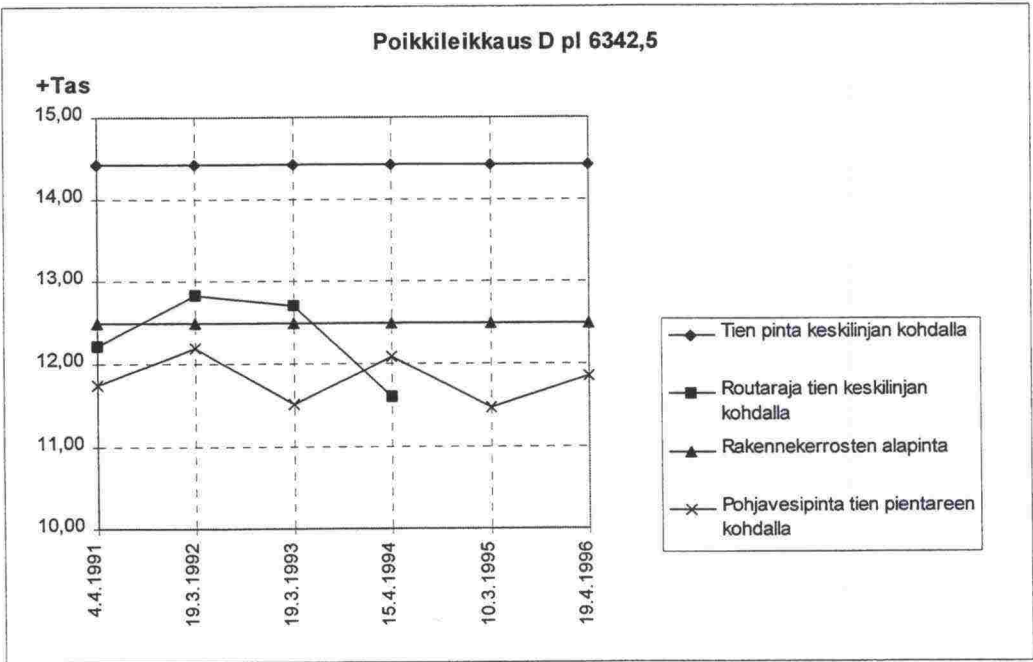
ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



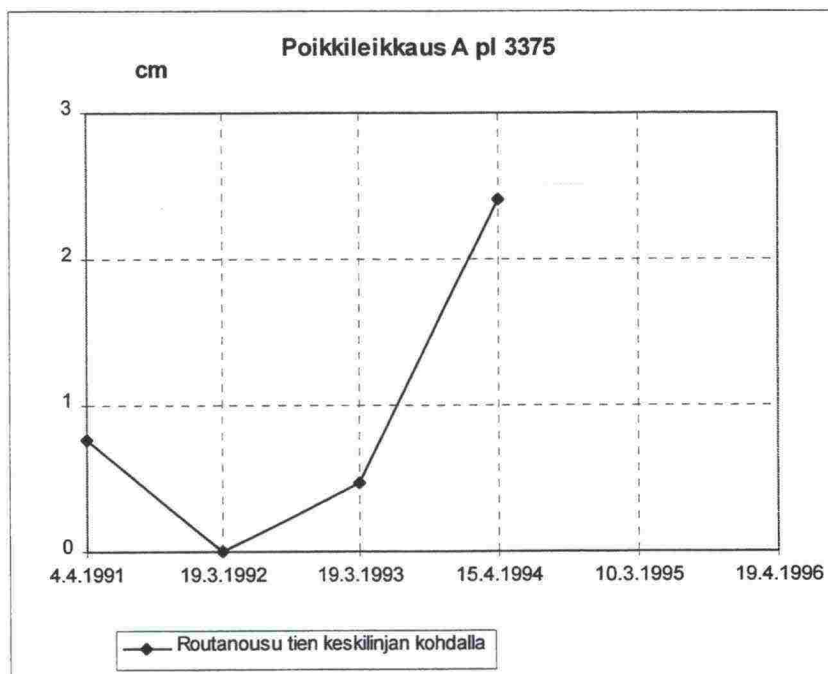
ROUDAN SYVYYS VUOSINA 1991 - 1996



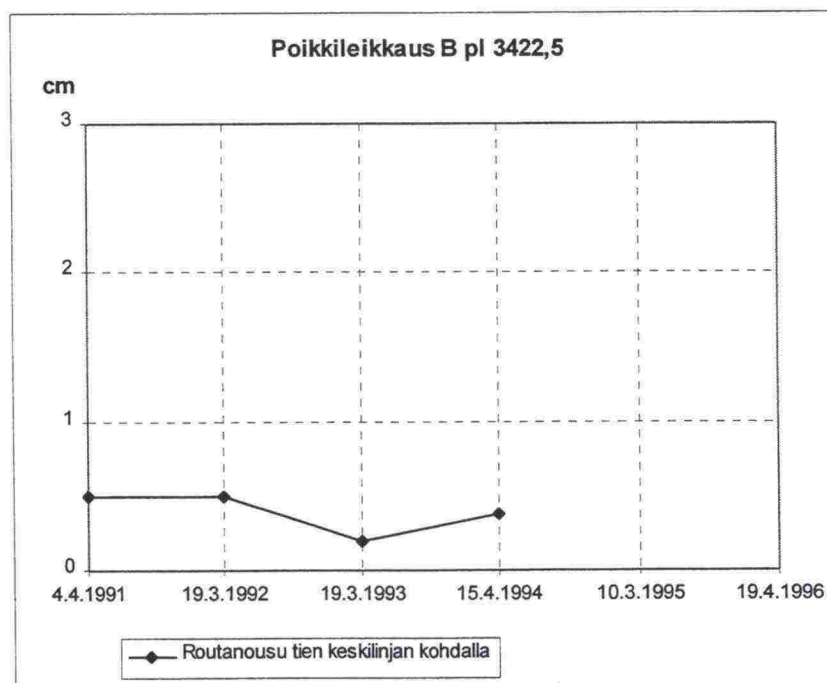
ROUDAN SYVYYS VUOSINA 1991 - 1996



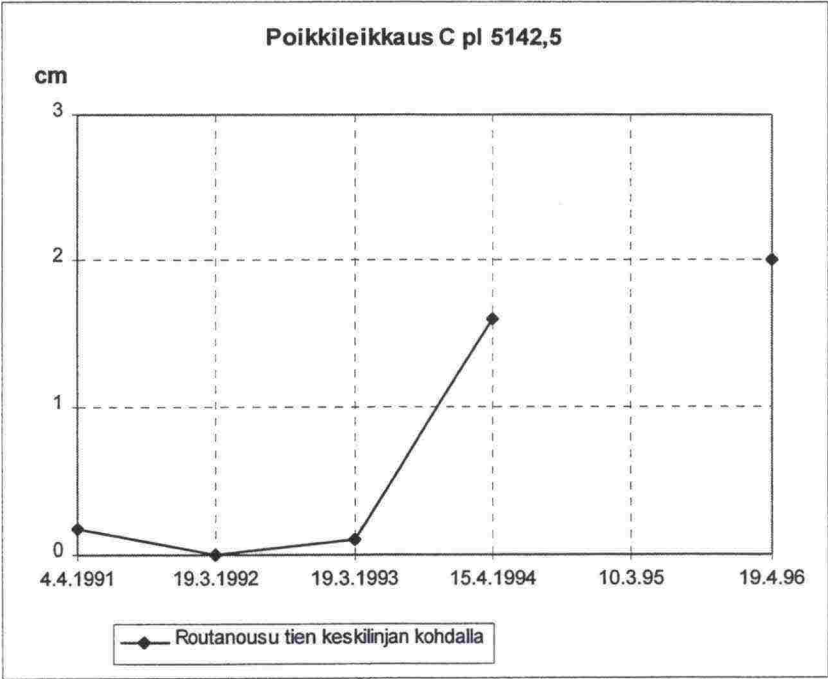
ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



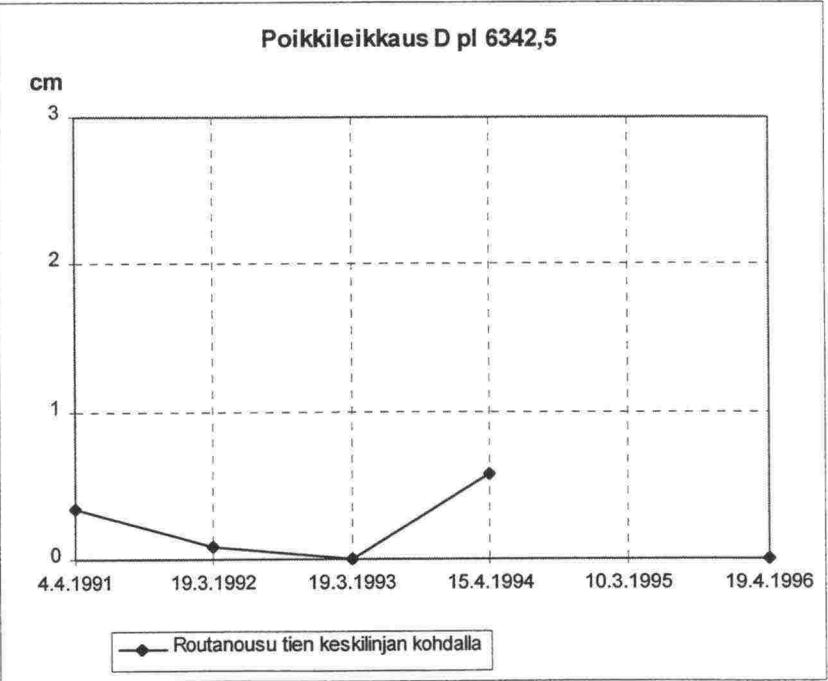
ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



ROUTANOUSU VUOSINA 1991 - 1996



LIITE 3

**BETONITEIDEN SEURANTATUTKIMUKSET
VUODELTA 1996**

VTT RAKENNUSTEKNIikka, OULU

Betonitien seurantatutkimukset vuodelta 1996

Tilaaja Tielaitos, Oulun kehitysyksikkö
PL 261
90101 Oulu

Tilaus Kirjallinen 13.9.1996 diplomi-insinööri Heikki Suni

Käsittelijä Tutkija Pasi Hopia, 08-551 2004, 040-580 1549

Tehtävä Betonitien seurantamittaukset 1990-2020, Betonin laadun seuranta. Tulokset vuoden 1996 mittauksista.

Näytteet

Näytteet tutkimuksia varten irroitettiin Oulun Timanttisaha Oy:n toimesta timanttisahalla ja -poralla betonitiestä 3.6.1996 laattojen no 200 ja no 1282 pientareen puoleisesta reunasta välittömästi reunaviivan ulkopuolelta. Kyseessä oli eri laatat kuin vuosien 1990-1992 seurannassa. Molemmat näytteet otettiin kaarteiden ulkoreunasta. Kummastakin laatasta irroitettiin kolme noin 100 mm levyistä ja noin 500 mm pituista perättäistä näytettä betonilaatan läpi (näytteen korkeus siten noin 220 mm). Näytepalat irroitettiin toisistaan poraamalla ϕ 100 mm:n timanttiporalla neljä reikää sahauslinjaan.

Näytteiden irroittamisen yhteydessä tehtiin seuraavat havainnot:

- laatasta no 200 otetut näytteet irtosivat pohjasta siten, että maabetonia tuli 5 - 45 mm mukaan
- laatasta no 1282 otetut näytteet irtosivat pohjasta siten, että maabetonia tuli 3 - 30 mm mukaan

Lisäksi oli käytössä vuoden 1991 seurantakokeiden yhteydessä otettuja tiebetoninäytteitä, jotka oli otettu laatasta no 1460. Näytteitä oli säilytetty VTT:llä ulkoilman olosuhteissa.

Näytteiden säilytys ja koekappaleet

Näytteet tuotiin VTT:lle 4.6.1996 ja niitä säilytettiin koekappaleiden valmistamishetkeen +20 °C lämpötilassa ja yli 95 % suhteellisessa kosteudessa.

Jokaisesta näytteestä valmistettiin 25-26.9.1996 kaksi kooltaan noin 100 mm x 100 mm x 500 mm koekappaleita (yläosasta ja alaosasta erikseen). Koekappaleiden kokonaismääräksi tuli siten 12 kpl.

Taivutusvetolujuuden määrittämisen jälkeen edellisistä palkeista valmistettiin 27.9.1996 noin 100 mm x 100 mm x 100 mm kokoisia koekappaleita seuraavasti:

- jokaisen yläosan palkista 2 kpl, joista päätykappale pakkas-suolakestävyyskokeeseen ja seuraava kappale puristuslujuuskokeeseen.
- jokaisen alaosan palkin päätykappale puristuslujuuskokeeseen

Mikroskooppitutkimuksessa käytettiin halkaisijaltaan noin 100 mm lieriöitä, jotka porattiin näytepalkkien irroittamiseksi sahauslinjasta.

Betonianalyysi tehtiin ylä- ja alapinnan taivutusvetolujuuspalkkeista. Tulos kuvaa siis laatan betonin koostumusta koko laatan korkeudella.

1. Kokeet

1.1 Taivutusvetolujuus

Kaikista palkeista määritettiin taivutusvetolujuus standardin SFS 5444 mukaan kahta viivakuormaa käyttäen. Kuormitus kohdistettiin yläosasta valmistettuun palkkiin siten, että vetopuolena oli tien pinnan puoleinen syrjä ja alaosasta valmistettuun palkkiin siten, että vetopuolena oli tien alapinnan puoleinen syrjä.

1.2 Puristuslujuus

Puristuslujuus määritettiin standardin SFS 4474 mukaan, siten että puristus-suunta oli tien pintaa vastaan kohtisuoraan.

1.3 Pakkas-suolakestävyys

Pakkas-suolakestävyys määritettiin standardin SFS 5449 mukaan. Jäädytys-sulatuskierrosten lukumäärä oli 50. Koekappaleet valmistettiin 27.9.1996. Koe aloitettiin 1.10.1996.

1.4 Mikroskooppianalyysi

Betoneiden kunto tutkittiin mikroskooppianalyysillä kahdesta poraamalla irrotetusta lieriöstä. Näytteet analysoitiin tutkimalla niitä tekijöitä, joilla on ollut ja on suora tai epäsuora vaikutus betonin kuntoon. Näitä tekijöitä kuvattiin lukuarvolla, ns indeksillä, nolasta kolmeen. Indeksi 0 tarkoittaa, että määritetty tekijä tai ominaisuus on erinomainen. Indeksi 3 tarkoittaa, että tekijä tai ominaisuus on huono.

1.5 Betonianalyysi

Betoneiden koostumus ja runkoaineen rakeisuus tutkittiin betonianalyysillä VTT Betoniteknillisiä koestusohjeita osan I kohdan 1.6 mukaisesti.

Analyysi perustuu siihen, ettei betonin runkoaine liukene suolahappoon ja toisaalta siihen, että betonissa käytetty sideaine liukenee suolahappoon (esim. lentotuhka ei liukene kokonaisuudessaan). Analyysin tuloksena voidaan ilmoittaa tyydyttävällä varmuudella betoniin käytetyn runkoaineen ja sideaineen määrät sekä runkoaineen rakeisuus. Lisäksi betoniin käytetty veden määrä voidaan ilmoittaa likimääräisenä arvona ja tietyin varauksin. Sideaineeseen kemiallisesti sitoutuneen veden määrä ilmoitetaan yksikkönä kg/m^3 . Analyysin yhteydessä määritettiin myös kuivan ja vedellä imeytetyn betonin tiheydet. Runkoaineen rakeisuus määritettiin kuivaseulonnalla standardin SFS 5280 mukaan.

1.6 Runkoaineen määrä

Betonitiestä sahattujen näytteiden sivupinnoista mitattiin runkoainerakeiden osuus kahdelta eri etäisyydeltä tien yläpinnasta lukien. Näytteen sivupintaan vedettiin viiva, jonka kohdalta runkoainerakeiden pituudet mitattiin. Mittaus tehtiin työntötulkilla.

2. Koetulokset

2.1 Taivutusvetolujuus

Taivutusvetolujuuden arvot on esitetty taulukossa 1. Tien yläpinnasta valmistettu palkki on merkitty huomautuksella yläpinta ja alapinnasta valmistettu palkki merkinnällä alapinta.

Taulukko 1. Taivutusvetolujuuden arvot (koestus suoritettu 27.9.1996).

Tunnus	Taivutusvetolujuus MN/m ²	Tiheys kg/m ³	Huomautus
200/1	5,85	2451	Yläpinta
200/2	6,63	2467	Yläpinta
200/3	6,79	2465	Yläpinta
Keskiarvo	6,42	2461	Yläpinta
200/4	6,51	2418	Alapinta
200/5	5,21	2441	Alapinta
200/6	6,99	2448	Alapinta
Keskiarvo	6,24	2436	Alapinta
1282/1	5,12	2504	Yläpinta
1282/2	5,65	2519	Yläpinta
1282/3	7,05	2541	Yläpinta
Keskiarvo	5,94	2521	Yläpinta
1282/4	5,49	2535	Alapinta
1282/5	4,99	2525	Alapinta
1282/6	4,85	2507	Alapinta
Keskiarvo	5,11	2522	Alapinta

2.2 Puristuslujuus

Puristuslujuustulokset on esitetty taulukossa 2. Tien yläpinnasta valmistetut koekappaleet on merkitty huomautuksella yläpinta ja alapinnasta valmistetut koekappaleet merkinnällä alapinta.

Taulukko 2. Puristuslujuustulokset (koestus 30.9.1996).

Tunnus	Puristuslujuus MN/m ²	Tiheys kg/m ³	Huomautus
200/1	90,1	2434	Yläpinta
200/2	87,2	2453	Yläpinta
200/3	85,9	2438	Yläpinta
Keskiarvo	87,7	2442	Yläpinta
200/4	84,6	2421	Alapinta
200/5	84,3	2422	Alapinta
200/6	81,3	2409	Alapinta
Keskiarvo	83,4	2417	Alapinta
1282/1	78,2	2488	Yläpinta
1282/2	82,6	2502	Yläpinta
1282/3	79,5	2504	Yläpinta
Keskiarvo	80,1	2498	Yläpinta
1282/4	80,7	2510	Alapinta
1282/5	80,3	2504	Alapinta
1282/6	79,2	2514	Alapinta
Keskiarvo	80,1	2509	Alapinta

2.3 Pakkas-suolakestävyys

Pakkas-suolakestävyyskokeen tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Pakkas-suolakestävyyskokeen tulokset koekappaleittain (koestus 1.10-19.12.1996).

Mittaustulos	200 1	200 2	200 3	200 Keski- arvo	1282 1	1282 2	1282 3	1282 Keski- arvo
Tiheys ennen imeytystä kg/m ³	2469	2484	2473	2475	2524	2538	2530	2531
Imeytyminen % (esikäsitteily)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tilavuuden muutos %								
10	0,0	0,1	0,1	0,1	2,1	2,3	1,9	2,1
25	0,7	0,5	0,4	0,5	6,6	6,1	5,5	6,1
40	2,4	2,0	1,6	2,0	12,2	12,3	11,0	11,8
50	4,0	3,7	3,4	3,7	18,9	20,6	15,2	18,2

Kokeen jälkeen laatan no 200 koekappaleissa oli havaittavissa jonkin verran rapautumista ja pienien runkoainerakeiden irtoamista. Laatan no 1282 koekappaleiden pinnat olivat rapautuneet voimakkaasti.

2.4. Mikroskooppianalyysi

Mikroskooppianalyysi tehtiin VTT Rakennustekniikassa Espoossa.

Näytteet

Näytteiden tunnuksot olivat 200/2 ja 1282/2.

Tutkimukset

Näytepreparointi ja tutkimukset suoritettiin tutkimusselostuksessa RAM0736/90 esitettyjen menetelmien mukaisesti.

Tulokset

Homogeenisuus

Kummankin betonin runkoaine-sideainejakauma oli tasainen samoin kuin sideainematriisin sisäinen rakenne. Myös sementin hydrataatio oli tasainen. Karkea runkoaine oli diabaasia. Hienompi runkoaine koostui lähinnä graniittisesta kivistä. Sideaineena oli seosaineeton portlandsementti.

Kummankin näytteen indeksi oli 0.

Ilmahuokosrakenne

Betonit olivat huokostamattomia. Molemmissa näytteissä oli erittäin vähän ilmahuokosia.

Kummankin näytteen indeksi oli 1,0.

Mikrosäröily

Näytteessä 200/2 oli betonin pinnassa 0-8 mm matkalla muutama pinnan suuntaisen särö. Rakenteeltaan ne olivat tyypillisiä pakkasvaurioissa syntyviä säröjä. Betonissa oli lisäksi tasainen, epäjatkuva mikrosäröilyverkosto.

Näytteessä 1282/2 oli betonin pintaosassa 0-20 mm matkalla voimakasta pinnansuuntaista halkeilua. Rakenteeltaan halkeamat olivat tyypillisiä pakkasvaurioissa syntyviä halkeamia. Betonissa oli lisäksi tasainen, epäjatkuva mikrosäröilyverkosto.

Näytteessä 200/2 pintaosan indeksi oli 2,0 ja syvemmillä 1,5. Näytteessä 1282/2 pintaosan indeksi oli 3,0 ja syvemmillä 2,0.

Kiteytymät

Kummankin betonin huokosissa oli hieman kalsiumhydroksidikiteytymiä.

Näytteiden indeksi oli 0,5.

Vesi-sideainesuhde

Vesi-sideainesuhde betoneissa oli tasainen ja varsin pieni. Isojen runkoainerakenteiden tartunnassa todettiin molemmissa näytteissä hieman kohonnut vesi-sideainesuhde.

Molempien näytteiden indeksi oli 0,5.

Karbonatisoituminen

Kummankin näytteen pinnan karbonatisoitumissyvyys oli noin 1 mm.

Tulosten tarkastelu

Koostumukseltaan betonit eivät poikenneet toisistaan. Karkea runkoaine oli diabaasia. Hienompi runkoaine koostui lähinnä graniittisesta kivistä. Sideaineena oli seosaineeton portlandsementti. Betonit olivat huokostamattomia ja varsin tiiviitä ja tasalaatuisia. Betoneiden huokosiin oli kiteytynyt hyvin vähän kalsiumhydroksidia.

Näytteet poikkesivat toisistaan betoneissa olleiden halkeamien ja säröjen osalta. Molemmissa betoneissa oli tasainen, suuntautumaton mikrosäröilyverkosto, joka todettiin osassa näytteistä jo aiemmissa tutkimuksissa. Mikrosäröilyverkosto oli hieman voimakkaampi näytteessä 1282/2 kuin näytteessä 200/2. Tämän säröilyverkon lisäksi oli molemmissa näytteissä ulkopinnan suuntaista halkeilua/säröilyä. Rakenteeltaan ne olivat tyypillisiä pakkasvaurioissa syntyviä halkeamia/säröjä. Näytteessä 200/2 säröt esiintyivät 0-8 mm matkalla betonin pinnasta ja näytteessä 1282/2 halkeamat olivat 0-20 mm matkalla pinnasta. Näytteen 1282/2 pinta oli selvästi voimakkaammin vaurioitunut.

Näytteen 200/2 ominaisuusindeksien summa on 5,5 ja näytteen 1282/2 ominaisuusindeksien summa on 7,0. Muiden ominaisuuksien indeksit olivat kummassakin näytteessä samat, mutta halkeiluindeksi oli näytteen 1282/2 pinta- ja sisäosissa korkeampi kuin näytteessä 200/2.

Erityisesti pinnansuuntainen, pakkashalkeilutyypinen, halkeilu on betoneissa lisääntynyt verrattuna aiempiin tutkimuksiin kyseisen tieosuuden betoninäytteistä.

2.5 Betonianalyysi

Betonianalyysin tulokset on ilmoitettu taulukossa 4. Runkoaineen rakeisuus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Betonin koostumus betonianalyysin perusteella (koestus 1.10-30.12.1996).

Määritetyt tekijät	Laatu	200 / 2	1282 / 2	1460 / II, III, IV	10 / I, IV
Sideaine	kg/m ³	460	384	413	459
Runkoaine	kg/m ³	1790	1952	1919	1820
Vesi	kg/m ³	199	194	190	192
Vesisideainesuhde		0,43	0,51	0,46	0,42
Vesikuiva-ainesuhde		0,088	0,083	0,081	0,084
Betonin tiheys kuivana	kg/m ³	2331	2410	2402	2343
Betonin tiheys vedellä imeytettynä	kg/m ³	2450	2530	2523	2474
Huokostilavuus	%	119	121	121	129
Kemiallisesti sitoutunut vesi	kg/m ³	80	73	69	63

Taulukko 5. Betonin runkoaineen rakeisuus (koestus 30.12.1996).

Seula #, mm	Laatta 200 / 2	Laatta 1282 / 2	Laatta 1460 / II, III ja IV	Laatta 10 / I, IV	Vertailu
0,125	8,6	5,6	7,6	10	3,9
0,25	16	9	13	20	6
0,5	22	13	16	26	10
1	34	21	24	39	18
2	46	30	34	52	28
4	59	40	45	65	38
8	68	51	57	74	47
16	81	76	81	90	69
32	100	100	100	100	100
64	100	100	100	100	100

2.6 Runkoaineen määrä

Runkoainerakeiden osuus kahdella eri etäisyydellä tien yläpintaan nähden on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Runkoainerakeiden osuus vaakasuoran mittaviivan kohdalla (mittaus tehty 25.-26.9.1996).

Näyte	Mittaviiva 20 mm yläpinnasta	Mittaviiva 110 mm yläpinnasta
200 / 1	40 %	52 %
200 / 2	36 %	42 %
200 / 3	52 %	49 %
keskiarvo	43 %	48 %
1282 / 1	54 %	47 %
1282 / 2	59 %	68 %
1282 / 3	68 %	61 %
keskiarvo	60 %	59 %

3. Tämän tutkimuksen tulosten vertailu vuosien 1990-1992 tuloksiin sekä muita johtopäätöksiä

Lujuudet

Taivutusvetolujuudet olivat selvästi alempia kuin aiemmissa kokeissa vuosina 1990-1992. Taivutusvetolujuusvaatimus on ollut 7 MN/m^2 , joten nyt saadut tulokset alittavat vaatimuksen. On huomattava, että tämänkertaiset näytteet otettiin eri laatoista kuin aiemmin. Lisäksi näytteiden säilytys poikkesi aiemmasta. Aiemmin näytteitä säilytettiin muovilla suojattuna ennen koekappaleiden valmistusta ja koestusta. Nyt näytteistä säilytettiin normisäilytyshuoneessa yli 95 % suhteellisessa kosteudessa. Betonien sisältämään kosteuteen eri säilytyksillä ei näytä olleen juuri vaikutusta, koska pakkas-suolakokeen imeytysvaiheessa eri vuosina betonien vedenimu on ollut samaa suuruusluokkaa.

Puristuslujuudet ovat jonkin verran suurempia kuin aiemmissa kokeissa vuosina 1990-1992. Puristuslujuusvaatimus on ollut 55 MN/m^2 . Nyt saadut tulokset ylittivät vaatimuksen.

Taivutusvetolujuuden suhde puristuslujuuteen on pienentynyt seurantajakson aikana. Vuonna 1990 suhde oli 0,103, vuonna 1991 0,097, vuonna 1992 0,090 ja vuonna 1996 0,072.

Säilyvyys

Vaatimuksena on ollut, että pakkas-suolakokeessa betonikoekappaleen tilavuus ei saa pienentyä 3 %:ia enempää 50 kierroksen aikana. Nyt tehdyissä kokeissa laatalta 200 tilavuuden pieneneminen 50 kierroksen aikana oli 3,7 % ja laatalta 1282 18,2 %. Vuosina 1990-1992 tehdyissä kokeissa laatalta 10/12 tilavuuden muutos oli -0,1 - 0,1 % ja laatalta 1460/1462 1,2 - 6,6 %. Laatan 1460 ensimmäiset pakkas-suolakokeet tehtiin syksyllä 1990, jolloin tiehen ei ollut kohdistunut vielä pakkasrasitusta. Rapautuma pakkas-suolakokeessa oli tuolloin kaksinkertainen vaatimukseen verrattuna.

Tielaitoksen julkaisussa 23/1991 esitetyssä työselityksessä oli maininta työaikaista pakkas-suolakokeista, joita tuli tehdä yksi 10000 m^2 kohti. Samassa julkaisussa ei ollut tuloksia kyseisistä kokeista, joten vertailuja seurantakokeiden tuloksiin ei voitu tehdä.

Tielaitoksen julkaisussa 23/1991 esitetyn Suunnittelukeskus Oy:n työselityksen mukaan tiebetonin lujuusluokan tuli olla K55 ja betonimassan ilmamäärän 2-4 %. Työmaakokouksessa 13.8.1988 betonin lujuusluokka nostettiin K70:iin ja lisähuokoistusvaatimus jätettiin pois. Työmaapöytäkirjaotteiden perusteella ennakkokoe tulokset ovat olleet vaatimukset täyttäviä. Ennakkokokeiden betonimassojen suhteitustietoja ei ollut käytettävissä. Betonitien betonointi aloitettiin K70-massalla, mutta ongelmien vuoksi lujuusluokka laskettiin K55:een ilman lisähuokoistusvaatimusta. Käytetyn tiebetonin pakkas-suolakestävyyden ennakkokokeiden tuloksia ei ollut käytettävissä, joten vertailuja seurantakokeiden tuloksiin ei voitu tehdä.

Mikroskooppianalyysissä todettiin sekä laatan 200 että laatan 1282 betonin pintaosassa pakkasvaurioita. Laatan 1282 osalla vaurioituminen oli voimakkaampaa. Laatan 1282 betonin pinnasta oli rapautunut näytteenottohetkellä noin 5 mm kerros betonia. Näytteenottokohta oli pientareella, missä ei ollut ajoneuvoliikennettä. Laatan 1460 näytteessä oli jo vuonna 1992 yksi pakkashalkeama.

Mikroskooppianalyysin ja pakkas-suolakokeen tulokset tukevat toisiaan laattojen 200 ja 1282 osalta.

Betonien koostumus

Käytettävissä olleiden asiakirjojen mukaan tiebetonin sementtimäärä oli 380 - 400 kg/m³. Betonianalyysin mukaan näytteiden sideainemäärä oli 384 - 460 kg/m³. Laatan 10 ja 200 runkoaine oli rakeisuudeltaan hienompaa kuin suhteitustietojen perusteella laskettu vertailurunkoaine. Laatan 1282 ja 1460 runkoaineen rakeisuus oli lähellä vertailurunkoainetta. On huomattava, että näytteiden timanttisauhauksessa sahauslinjalta runkoainerakeet katkeavat, jolloin betonianalyysin jälkeisessä seulonnassa saatiin karkeaa runkoainetta jonkin verran liian vähän.

Runkoainerakeiden jakautuma näytteiden korkeussuunnassa oli kahdelta korkeudelta tehtyjen mittauksen mukaan tasaista. Näytteiden välillä oli suuria eroja. Laatalle 200 on karkeiden runkoainerakeiden osuus selvästi pienempi kuin ohjearvo.

Johtopäätökset

Tulosten perusteella näyttää siltä, että betonitiehen käytetyn betonin pakkasenkestävyys ei ole ollut riittävä rasituksiin verrattuna. Huonon pakkasenkestävyyden syynä näyttää olevan se, että betonia ei huokostettu, vaikka vesisementtisuhde tehtyjen kokeiden perusteella oli noin 0,4 - 0,5.

Havaittu tiebetonin pakkasrapautuminen on ollut osasyynä tien urautumiseen.

Oulu 14.1.1997

Erikoistutkija



Kauko Tulla

Tutkija



Pasi Hopia

JAKELU

Tilaaaja 2 kpl
VTT RTE 1 kpl

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 69/1996 Telekaapeliasennusten vaikutus tierakenteeseen. TIEL 3200436
- 70/1996 Kantavan kerroksen asfalttibetoni; Referenssimateriaalin ominaisuudet. TIEL 3200437
- 71/1996 Ajonopeuksien liikenneturvallisuusvaikutukset: Ajonopeuksien turvallisuusvaikutusten riippuvuus ulkoisista tekijöistä. TIEL 3200438
- 72/1996 Ajonopeuksien liikenneturvallisuusvaikutukset: Ajonopeuden turvallisuusvaikutukset yksilöllisestä näkökulmasta. TIEL 3200439
- 73/1996 Autonkuljettajien informaatiotarpeet. TIEL 3200440
- 74/1996 Liikenteen kysyntä; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista. TIEL 3200441
- 75/1996 Hematiittijauheen soveltuvuus SMA-massaan. TIEL 3200442
- 76/1996 Muuttuvan nopeusrajoitusmerkin tekniikan vaikutukset ajonopeuksiin ja merkin muistamiseen. TIEL 3200443
- 77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444
- 78/1996 Moreenin rakeistaminen pellettoimalla; Nykytilaselvitys. TIEL 3200445
- 79/1996 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446
- 80/1996 Alempiasteisen tieverkon strategiat; Tienpidon kohdentamisvaikutukset kylien kehitykseen. TIEL 3200447
- 81/1996 Maankäytön ja liikenteen yhteensovittaminen kaupunkiseudulla. TIEL 3200450
- 1/1997 Sää- ja kelitietoon perustuva liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutus kuljettajien käyttäytymiseen ja käsityksiin. TIEL 3200448
- 2/1997 Liikenteen hallinnan tempukortisto. TIEL 3200449
- 3/1997 Tielaitoksen ympäristöpolitiikan arviointi. TIEL 3200451
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkereen luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat mitoitustalaskelmat eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200453
- 6/1997 Talviajan liikenneturvallisuus; Tilastollinen tarkastelu. TIEL 3200454
- 7/1997 Bitumiemulsion murtumisajan vaikutus päällystemassan ominaisuuksiin. TIEL 3200455
- 8/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen. TIEL 3200456
- 9/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen; Yhteenveto. TIEL 3200457
- 10/1997 Valuation of Impacts of Road Traffic Emissions; Summary. TIEL 3200457E